

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班

碩士論文

指導教授：邱美虹博士

以多重表徵教學探究高二學生氧化還原、
電池和電解的概念改變

The use of multiple representations
instruction to investigate 11th graders'
conceptual change on oxidation-reduction,
electric cell and electrolysis.

研究生：李雪碧

中華民國 102 年 7 月

摘要

本研究目的主要探討多重表徵教學活動對於學生學習氧化還原概念、電池和電解概念的概念改變，本研究設計以多重表徵作為教學方法，以電子白板為教學載具，以即時回饋系統作為評量載具，針對新北市某市立高中二年級自然組兩班學生進行研究，將兩班隨機分派為實驗組與對照組，實驗組學生有 33 位，對照組學生有 32 位，共 65 位。實驗組與對照組的主要教學差異為前者以明示法呈現次微觀表徵，後者則是以暗示法呈現次微觀表徵，教學研究為期兩週，共七堂課。

研究結果以量化和質性兩者兼具的方法進行分析。在量化方面，採用 SPSS 統計軟體分析概念表現情形與其差異，而在質性方面，將學生的概念圖進行概念類別以及概念類型的演變路徑分析。

本研究結果顯示：1.以明示法呈現次微觀表徵的多重表徵教學能幫助學生建立電池機制。2. 以明示法呈現次微觀表徵的多重表徵教學能有助於學生概念改變。3. 以明示法呈現次微觀表徵的多重表徵教學能幫助學生將氧化還原概念、電池概念以及電解概念作連結。

本研究建議教師在化學教學時，要將相關的概念一同教學將有助於學生學習，此外在教學的設計上要使用明示法來呈現次微觀，也要同時呈現巨觀、符號以及語言的表徵，將有助於學生理解化學概念。

關鍵字：概念改變、多重表徵教學、氧化還原概念、電池概念、電解概念

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effectiveness of multiple representations teaching activities on students' learning of the concept of oxidation-reduction reaction, electric cell and electrolysis, and their conceptual change after the instruction. The study was designed as a teaching method with multiple representations, whiteboard was used as a teaching vehicle, and Interactive Response System(IRS) was used to assess students' performance. Sixty-five 11th graders from a local high school in New Taipei city were involved in this study, and two classes of students were randomly assigned to the experimental group (33) and the control group (32). The differences between the Experimental group and the Control group was that the former was presented with explicit explanations of submicroscopic characters of chemical phenomenon, while the latter was designed to use the same materials without explicit explanations of the submicroscopic nature of chemical phenomenon.

The results were analyzed quantitatively and qualitatively. As for the quantitative perspective, the use of SPSS statistical software was adopted to analyze the performance of the students on the pre- and posttests.. As for the qualitative perspective, the analyses of student concept maps and conceptual evolution paths were conducted for both groups.

There were three major results. First of all, the experimental group using the explicit instruction on the submicroscopic representations significantly improved students' competence of building battery mechanism. Secondly, the explicit submicroscopic representations supported students for conceptual change. Thirdly, the explicit submicroscopic representation facilitated students' learning of the concepts of oxidation-reduction reaction, electrolytic cell and their relationships.

The study suggests that teaching with explicit explanations and multiple representations (including macroscopic phenomenon, chemical symbols, and verbal descriptions) will help students construct scientific knowledge effectively.

Keywords: conceptual change, multiple representations instruction,
oxidation-reduction, electric cell, electrolysis

目錄

第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與問題.....	2
第三節 名詞解釋.....	4
第四節 研究範圍與限制.....	5
第貳章 文獻探討.....	7
第一節 多重表徵.....	7
第二節 氧化還原與電池、電解概念.....	11
第三節 概念改變.....	14
第四節 電子白板與即時回饋系統.....	17
第參章 研究方法與步驟.....	19
第一節 研究對象.....	19
第二節 研究設計.....	20
第三節 教學設計.....	21
第四節 研究工具.....	26
第五節 研究流程.....	28
第六節 資料處理和分析.....	29
第肆章 研究結果與討論.....	33
第一節 教學成效的分析.....	33
第二節 學生在課堂中的概念改變.....	64
第三節 概念圖分析.....	75
第四節 多重表徵教學情意面向分析.....	87
第伍章 結論與建議.....	95
第一節 結論.....	95
第二節 建議.....	96
參考文獻.....	97
附錄一、概念圖.....	101
附錄二、化學反應測驗試題雙向細目表.....	102
附錄三、化學反應測驗試題.....	104
附錄四、課堂評量.....	125
附錄五、概念圖試題.....	130

表目錄

表 3-3-1 實驗組與對照組在氧化還原概念的教學內容差異	23
表 3-3-2 實驗組與對照組在電池和電解概念的教學內容差異	24
表 3-4-1 研究工具的設計	26
表 4-1-1 實驗組學生在第一部分的答題表現	35
表 4-1-2 對照組學生在第一部分的答題表現	37
表 4-1-3 實驗組學生在第二部分的答題表現	39
表 4-1-4 對照組學生在第二部分的答題表現	42
表 4-1-5 實驗組學生在第三部分的答題表現	45
表 4-1-6 對照組學生在第三部分的答題表現	48
表 4-1-7 實驗組學生在第四部份的答題表現	51
表 4-1-8 對照組學生在第四部份的答題表現	54
表 4-1-9 教學前實驗組與對照組在化學反應測驗試題的獨立 t 考驗	56
表 4-1-10 實驗組前、後、延宕測驗的組內答對率	57
表 4-1-11 實驗組前、後、延宕測驗的成對 t 考驗	58
表 4-1-12 對照組前、後、延宕測驗的組內答對率	59
表 4-1-13 對照組前、後、延宕測驗的成對 t 考驗	60
表 4-1-14 實驗組與對照組後測與延宕測驗的 ANCOVA 比較	61
表 4-2-1 實驗組與對照組在氧化還原第一堂課的獨立 t 考驗	64
表 4-2-2 實驗組與對照組在氧化還原第二堂課的獨立 t 考驗	66
表 4-2-3 實驗組與對照組在電池第一堂課的獨立 t 考驗	67
表 4-2-4 實驗組與對照組在電池第二堂課、電解第一堂課的獨立 t 考驗	68
表 4-2-5 實驗組與對照組在電解第二堂課的獨立 t 考驗	70
表 4-3-1 實驗組學生的概念類型分佈	81
表 4-3-2 對照組學生的概念類型分佈	84
表 4-4-1 實驗組與對照組學生對電子白板的想法	87
表 4-4-2 實驗組與對照組學生對 IRS 之想法	89
表 4-4-3 實驗組與對照組學生對實驗影片之想法	92
表 4-4-4 實驗組學生對粒子影片之想法	94

圖目錄

圖 2-1-1 化學中的表徵層級(Johnstone, 1993)	7
圖 2-1-2 化學教育四面向(Mahaffy, 2006).....	8
圖 2-1-3 影響化學學習的因素(Chiu, 2012)	9
圖 2-3-1 概念本體樹(Chi, 2008)	15
圖 2-3-2 Vosniadou 的架構理論圖(Vosniadou, 1994).....	16
圖 3-2-1 研究理念圖	20
圖 3-3-1 教學設計圖	22
圖 3-5-1 研究流程圖	28
圖 4-1-1 教學前實驗組與對照組的學生在化學反應測驗試題的答對率	56
圖 4-1-2 實驗組前、後、延宕測驗的答對率	58
圖 4-1-3 對照組前、後、延宕測驗的答對率	60
圖 4-1-4 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的氧化還原概念答對率比較	61
圖 4-1-5 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的電池概念答對率比較	62
圖 4-1-6 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的電解概念答對率比較	62
圖 4-2-1 實驗組與對照組在氧化還原第一堂課的答對率比較	65
圖 4-2-2 實驗組與對照組在氧化還原第二堂課的答對率比較	66
圖 4-2-3 實驗組與對照組在電池第一堂課的答對率比較	67
圖 4-2-4 實驗組與對照組在在電池第二堂課、電解第一堂課的答對率比較	69
圖 4-2-5 實驗組與對照組在在電解第二堂課的答對率比較	70
圖 4-2-6 實驗組學生表現與教學內容的關係	72
圖 4-2-7 對照組學生表現與教學內容的關係	73
圖 4-3-1 A 概念類型的範例	75
圖 4-3-2 B 概念類型的範例	75
圖 4-3-3 C 概念類型的範例	76
圖 4-3-4 D 概念類型的範例	76
圖 4-3-5 E 概念類型的範例	77
圖 4-3-6 F 概念類型的範例	77
圖 4-3-7 G 概念類型的範例	78
圖 4-3-8 H 概念類型的範例	78
圖 4-3-9 I 概念類型的範例	79
圖 4-3-10 J 概念類型的範例	79
圖 4-3-11 K 概念類型的範例	80
圖 4-3-12 L 概念類型的範例	80
圖 4-3-13 實驗組學生的概念類型分布比例	81
圖 4-3-14 實驗組學生概念類型的演變路徑圖	83

圖 4-3-15 對照組學生的概念類型分布比例	84
圖 4-3-16 對照組學生概念類型的演變路徑圖	86
圖 4-4-1 實驗組學生對電子白板想法的分布圖	88
圖 4-4-2 對照組學生對於電子白板想法的分布圖	88
圖 4-4-3 實驗組學生對於 IRS 想法的分布圖	90
圖 4-4-4 對照組學生對 IRS 想法的分布圖	90
圖 4-4-5 實驗組學生對實驗影片想法的分布圖	92
圖 4-4-6 對照組學生對實驗影片想法的分布圖	92
圖 4-4-7 實驗組學生對於粒子影片想法的分布圖	94

第壹章 緒論

本研究旨在探討不同的表徵活動對於學習氧化還原和電池、電解概念的理解，本章第一節從 97 年版高中基礎化學課程綱要為出發點，並結合以往的研究發現來說明研究背景和動機；第二節由研究的主軸闡述四大研究目的及其研究問題；第三節名詞釋義，說明本研究提及的名詞及其內容；第四節說明研究範圍與限制。

第一節 研究背景與動機

由於 97 年版高中基礎化學課程綱要中課程目標強調教材內容著重在基礎的化學原理及應用，且核心能力也同樣強調學科能力應注重概念的理解與應用(教育部, 2008)。當學生要理解化學概念時，必須能夠在巨觀、次微觀、符號三種表徵之間作轉換(Johnstone, 1991)，如此才能對化學概念有深層的理解。邱美虹(2000)指出科學概念學習困難的原因有下列幾點：1.受到個人經驗的影響，2.概念本身是抽象的，3.概念本身是複雜的，4.概念本身是微觀的。學生在學習化學概念時，從巨觀角度觀察與學習是容易的，但要從微觀角度來解釋巨觀現象時卻有其困難性，因此，微觀想法相當重要。

學習氧化還原和電池、電解概念更需要微觀想法來協助學生瞭解機制，的確學生無法清楚了解氧化還原反應過程中的電子轉移微觀機制，而應用氧化還原概念的電池概念與電解概念亦是，Sanger 和 Greenbowe(1997)回顧許多研究後提及學生無法清楚地了解電化學的微觀機制，此外，氧化還原概念中有些名詞的運用容易造成學生的誤解。Chiu(2012)提出語言是另一個影響學生理解複雜科學概念的因素，因此本研究以巨觀、次微觀和符號(Johnstone, 1991; Treagust et al., 2003)並結合語言(Chiu, 2012)四種表徵作為主軸，以氧化還原概念並結合其應用層面的電池、電解概念為教學內容，探討具備基本氧化還原概念的學生在學習氧化還原概念、電池概念以及電解概念的成效為何？及其表現與教學內

容的關係為何？

此外，國內外相當多研究指出電子白板能促進教學成效，而即時回饋系統(Interactive Response System，簡稱 IRS)能即時讓教師了解學生的學習成效，兩者工具的結合更能增加師生互動的教學環境，故本研究使用電子白板作為教學載具，以即時回饋系統作為評量載具，了解教學和評量載具對於學生學習態度的影響，更進一步利用即時回饋系統評量學生課堂中的概念演變情形。

第二節 研究目的與問題

本研究基於上述的背景和動機，研究目的與問題分別陳述如下：

研究目的一. 探討不同表徵教學活動下，學生在學習氧化還原和電池、電解概念的學習成就表現情形。

問題 1-1. 兩組學生在氧化還原概念的學習成就表現情形為何？

問題 1-1-1. 兩組學生在教學前，氧化還原概念的先有概念為何？

問題 1-1-2. 兩組學生在教學後，氧化還原概念的學習表現為何？

問題 1-1-3. 兩組學生在教學後，氧化還原概念的學習表現異同為何？

問題 1-1-4. 兩組學生在延宕測驗，氧化還原概念的表現為何？

問題 1-2. 兩組學生在電池概念的學習成就表現情形為何？

問題 1-2-1. 兩組學生在教學前，電池概念的先有概念為何？

問題 1-2-2. 兩組學生在教學後，電池概念的學習表現為何？

問題 1-2-3. 兩組學生在教學後，電池概念的學習表現異同為何？

問題 1-2-4. 兩組學生在延宕測驗，電池概念的表現為何？

問題 1-3. 兩組學生在電解概念的學習成就表現情形為何？

問題 1-3-1. 兩組學生在教學前，電解概念的先有概念為何？

問題 1-3-2. 兩組學生在教學後，電解概念的學習表現為何？

問題 1-3-3. 兩組學生在教學後，電解概念的學習表現異同為何？

問題 1-3-4. 兩組學生在延宕測驗，電解概念的表現為何？

研究目的二. 探討利用即時回饋系統評量學生課堂中的概念改變情形。

問題 2-1. 兩組學生在學習氧化還原概念的概念改變情形為何？

問題 2-1-1. 兩組學生在學習氧化還原概念的概念改變差異為何？

問題 2-1-2. 兩組學生在氧化還原概念的概念改變與教學內容的關係為何？

問題 2-2. 兩組學生在學習電池概念的概念改變情形為何？

問題 2-2-1. 兩組學生在學習電池概念的概念改變差異為何？

問題 2-2-2. 兩組學生在電池概念的概念改變與教學內容的關係為何？

問題 2-3. 兩組學生在學習電解概念的概念改變情形為何？

問題 2-3-1. 兩組學生在學習電解概念的概念改變差異為何？

問題 2-3-2. 兩組學生在電解概念的概念改變與教學內容的關係為何？

研究目的三. 探討學生在多重表徵教學活動過程的概念演變之情形。

問題 3-1. 學生學習氧化還原概念過程中概念演變情形為何？

問題 3-2. 學生學習氧化還原概念過程中概念演變類型為何？

問題 3-3. 學生學習電池概念過程中概念演變情形為何？

問題 3-4. 學生學習電池概念過程中概念演變類型為何？

問題 3-5. 學生學習電解概念過程中概念演變情形為何？

問題 3-6. 學生學習電解概念過程中概念演變類型為何？

研究目的四. 探討學生在多重表徵教學活動的學習態度之情形。

問題 4-1. 學生對多重表徵的學習態度之情形為何？

問題 4-2. 學生對於以電子白板為教學載具的態度為何？

問題 4-3. 學生對於以即時回饋系統為評量載具的態度為何？

第三節 名詞解釋

本研究中所提到的專有名詞，分別說明如下：

一、多重表徵

化學的表徵系統有三種層級(Johnstone, 1993; Treagust et al., 2003)：巨觀層級(Macroscopic level)、次微觀層級(Submicroscopic level)以及符號層級(Symbolic level)並結合 Chiu(2012)提及的語言表徵，本研究中多重表徵亦指這四種表徵。

二、氧化還原

氧化還原概念著重在氧化數及電子轉移的相關概念上，至於氧化還原滴定只進行基本觀念和基本計算的教學。

三、電池概念

電池概念著重在成分以及其微觀機制的部分，成分涵蓋電極、電解質、鹽橋以及外電路，微觀機制分為電子移動和離子移動，屬於自發反應。

四、電解概念

電解概念著重在成分以及其微觀機制的部分，前者涵蓋電極、電解質、鹽橋以及外電路，微觀機制分為電子移動和離子移動，屬於非自發反應。

第四節 研究範圍與限制

本研究的研究範圍與限制陳述如下：

- 一、本研究的教學設計只限定在已學習基礎化學(一)課程的學生，其具備基本的氧化還原反應，包括氧化還原概念以及常見的氧化劑與還原劑及其應用，具備此條件的學生經過不同表徵的教學活動其學習成效進行討論，因此研究結果不宜過度推論。
- 二、本研究對象為新北市某市立高中兩班升高二自然組學生，樣本人數共計 65 位，此為方便取樣，故不宜類推至全國所有升高二自然組學生。
- 三、本研究的教學內容為氧化還原、電池和電解概念，而電池、電解概念為基本的電化學概念，因此研究結果不宜廣泛推論至艱難的電化學原理。

第貳章 文獻探討

本章分為四節，第一節為多重表徵，第二節為氧化還原和電池、電解文獻回顧，第三節為概念改變，第四節為電子白板和即時回饋系統的相關文獻。

第一節 多重表徵

Gilbert(2008)提及表徵有兩種類型，一為外在表徵(external representation)，另一為內在表徵(internal representation)，前者亦指透過圖或表等方式呈現資訊，後者指從外部表徵所形成的心智表徵，故個人的心智表徵會受到外部表徵所影響。就外部表徵而言，Johnstone(1982)曾提出化學概念具有三層級，第一層級為描述和功能層級，如物質屬性；第二層級為表徵層級，如：分子式等；第三層級為解釋層級，如以原子和分子來解釋化學物質的行為等。

之後化學的表徵系統三層級(Gabel, 1999; Johnstone, 1993; Treagust et al., 2003)：巨觀層級(macroscopic level)、次微觀層級(submicroscopic level)以及符號層級(symbolic level)，巨觀層級為可觀察的化學現象，如顏色變化、物質的生成或消失；次微觀層級為解釋巨觀現象，如粒子移動；符號層級為代數、物理和計算形式，如化學方程式(圖 2-1-1)。

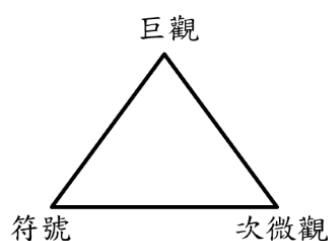


圖 2-1-1 化學中的表徵層級(Johnstone, 1993)

這三種表徵在學生學習化學中扮演了很重要的角色，而 Gabel(1999)曾指出化學教育通常著重在抽象的符號層級，然而，教師通常沒有知覺到自己在思考的過程中已經在這三種表徵間做轉換，換句話說，教師在教學中無意識自己已

從一表徵到另一表徵，導致學生在理解化學概念上較為不易，因此，為了讓學生在三種表徵間具有良好的轉換，教學內容上應該要同時呈現巨觀表徵、次微觀表徵以及符號表徵。

Johnstone(1991)同樣也認為三種表徵之間作連結更能使學生在巨觀、次微觀以及符號表徵間作轉換，由此可見學生要理解化學概念必須要能在巨觀、次微觀以及符號三種表徵間做連結及良好的轉換是相當重要，換句話說，化學概念雖然常以抽象的符號表徵來呈現，但這些化學概念中也常有巨觀的現象以及造成巨觀現象的微觀特性，因此，往往正確的科學概念需要以微觀來解釋巨觀現象，但是學生卻不易以微觀的想法來解釋巨觀現象。

綜合上述，學生要學習化學概念除了要瞭解巨觀以及符號表徵以外，也必須從微觀的角度來理解巨觀現象，此外，學生在學習化學概念的過程中更必須能在各種表徵間作正確連結以及轉換。

然而，學生在學習化學概念的過程中，除了會使用到巨觀、次微觀以及符號這三種表徵外，仍有重要的因素會影響學生學習化學，Mahaffy(2006)強調化學教育要和學生的經驗作連結，因而提出人的因素(human element)這面向，如圖 2-1-2。Chiu(2007)研究中發現語言會影響學生的化學學習，因此 Chiu(2012)也提出語言是另一個影響學生理解複雜科學概念的因素(圖 2-1-3)，而本次研究將著重在巨觀、次微觀、符號及語言四種表徵，因此本研究的理論圖只為下圖中最下方四方型的部分(圖 2-1-3)。



圖 2-1-2 化學教育四面向(Mahaffy, 2006)

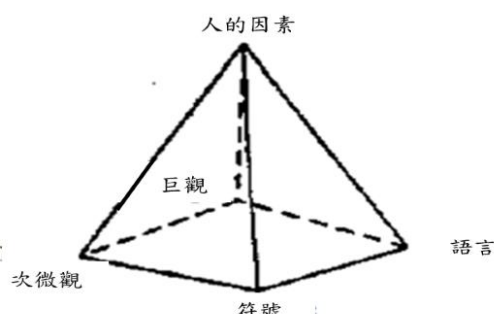


圖 2-1-3 影響化學學習的因素 (Chiu, 2012)

Boulter 和 Buckley (2000)以表徵方式及表徵屬性兩個面向進行分類，他們將表徵方式分成十個類別，分別為具體的(concrete)、言語的(verbal)、視覺的(visual)、數學的(mathematical)、動作的(gestural)、具體混合(concrete mixed)、言語混合(verbal mixed)、視覺混合(visual mixed)、數學混合(mathematical mixed)以及動作混合(gestural mixed)，具體表徵是指 3D 模型，例如：塑膠心臟；言語表徵是利用描述、解釋、比喻等方式看見或聽見，例如：心臟像一個幫浦；視覺表徵是指看的見的模型，例如：圖表、動畫、模擬；數學表徵是指公式或方程式，例如：行星運動方程式；動作表徵是指身體的移動來表示，例如：學生當作太陽系的星球，而學生的走動當作星球的運動；具體混合表徵是使用具體表徵搭配言語表徵或視覺表徵等，例如：太陽儀的說明標籤；言語混合表徵是使用言語表徵搭配視覺表徵等，例如：用言語解釋心臟結構圖；視覺混合表徵是使用視覺表徵搭配言語表徵等，例如：心臟結構解說圖；數學混合表徵是指數學表徵搭配言語表徵來解釋；動作混合表徵是指動作表徵搭配言語表徵的解釋。而表徵屬性分成量的(quantitative)或質的(qualitative)、靜止(static)或動態(dynamic)、確定性(deterministic)或隨機性(stochastic)，舉例來說：心臟像是一個幫浦是言語表徵，其表徵屬性為質的且為靜止；血液循環的動畫則是視覺表徵，其表徵屬性為質的、動態且為確定性。

依據 Boulter 和 Buckley (2000)表徵方式的分類，本研究的多重表徵為巨觀、次微觀、符號以及語言則是屬於視覺混合表徵以及言語混合表徵。

Ainsworth(1999)提出多重表徵有三個重要的功能，一為表徵間可相互補充，補足資訊，使資訊更完整；二為一種熟悉的表徵能解釋其他較不熟悉或者抽象的表徵，三為多種表徵可以一同協助學生建立深層理解，因此，由此可見外在表徵對於內在表徵是相當重要的，而多重表徵能夠有效協助學生理解化學概念。而 Nakhleh 和 Postek(2008)曾指出視覺化表徵都能幫助學生理解化學。

綜合上述，化學教師在設計教學與設計教材時，應該要將化學概念的巨觀、次微觀、符號以及語言一同放入教學內容中。在課堂上，教師更要強調巨觀、次微觀和符號之間的連結，以協助學生能理解化學概念並能在表徵間作轉換。更重要的是，化學教師在課堂中講解的語言要慎用，並注意概念是否會受到語言影響，可藉由教學過程澄清，讓學生能順利理解化學概念，如此一來透過完整的多重表徵(外在表徵)以協助學生建立正確的心智表徵(內在表徵)。因此本研究將以多重表徵(巨觀、次微觀、符號和語言)進行教學內容的設計，探討經歷不同表徵教學的學生，其學習成效為何？

第二節 氧化還原與電池、電解概念

在氧化還原反應概念中，學生學習過程會受到語言的影響，例如學生會將氧化的定義為氧的增加，還原的定義為氧的移去，在 Garnett 和 Treagust(1992)發現中學 12 年級學生會認為有氧參與的反應就是氧化還原反應、還原反應就是去除氧的反應、甚至認為氧化與還原過程可以獨立存在，此外，中學生也認為氧化數可以表示出原子在分子中的真正帶電狀態、氧化總是要加入氧(Oran & Schreck,1994;引自詹耀宗、邱鴻麟, 2004)，同樣在詹耀宗和邱鴻麟(2004)針對 3520 位國二學生、3441 位國三學生以及 2885 位高二學生進行概念學習測驗的結果發現學生對氧化還原及燃燒概念的命題陳述理解的不完整以及學生對氧化還原及燃燒概念的相關概念有不當的錯置與連結。研究者認為造成上述中學生的迷思概念是因為學生對氧化還原反應過程中電子轉移的微觀機制不甚了解而造成其對氧化還原反應的迷思。

黃靖婷(2010)以 CCM 理論融入 5E 探究學習環之探究活動為主，探究活動設計多以巨觀的實驗觀察為主，沒有太多微觀部分的探討，國中學生不容易對氧化還原中價數的升降或是電子轉移進行判斷，因此教材設計能針對微觀的部分將能增進學生對氧化還原的概念理解。因此，研究者從這研究中的確發現在學習氧化還原概念時，教師教導學生的微觀想法是相當重要。

除了中學生會對氧化還原有迷思概念外，大學生也同樣擁有氧化還原的迷思概念，王貴春和黃萬居(1998)研究發現師院學生對氧化還原的迷思概念有下列情形：氧化還原是可逆反應，若向右是氧化則向左是還原；自身氧化還原反應不需要加入物質就可產生反應；有氧參與的反應就是氧化還原反應；沒有元素產生就不是氧化還原反應；氧化劑和還原劑都是催化劑，用來加速氧化還原反應，本身不會參與反應；所有的化學反應都會有電子的得失(引自詹耀宗、邱鴻麟,2004)，從此研究中可以發現師院學生對氧化還原有六項迷思概念，此六項迷思概念皆為學生不清楚氧化還原微觀觀念，因而使學生過度推論或者產生誤

解所導致。

除此之外，國內文獻在探討能有效促進學生學習氧化還原概念的教學方式相當多元，邱鴻麟和蔣勝發(2000)的研究是以氧化還原反應電腦輔助學習軟體 CAL(computer-assisted learning)來協助 92 位高三學生達到有意義學習，研究發現 CAL 能有效促進學生學習氧化還原概念；陳香如(2000)針對高一學生進行精熟教學，研究發現精熟教學是能促進學生氧化還原概念的學習；同樣地，丁鎰鎰(2000)針對國三學生進行精熟教學，研究發現精熟學習的教學策略是能促進學生學習氧化還原概念；李岱芳(2003)針對大學生進行情境學習模式的氧化還原反應網路教學，研究發現學生在情境式網路學習中的學習成效優於在非情境式網路學習中的學習成效。從上述研究中發現國內對於促進學生學習氧化還原概念的教學方式是使用精熟學習的教學策略或者是以電腦或網路為主的學習，然而本研究想要透過多重表徵教學的方式協助學生在氧化還原概念的學習。

電化學相關概念必須奠基於氧化還原概念之上，Sanger 和 Greenbowe(1997)提及學生無法清楚了解電化學的微觀機制，如：無法清楚的瞭解電流流動的情形，因此可能造成了學生難以區別電解、電池中的正極、負極，也無法區分陰極與陽極。再者，學生認為電子可以在溶液中流動，從陰極進入溶液再經鹽橋至陽極，以形成電流(Garnett & Treagust, 1992; Sanger & Greenbowe, 1997)。

郭順利(1997)針對 575 位高一和高二學生進行電化學概念的診斷，研究發現學生在電化學中的主要錯誤概念為 1.認為電流只是電子的移動，不包括離子移動 2.鹽橋的功用是溝通兩個電解槽中的離子，而不是提供離子 3.以化學活性的大小判斷陰陽電極 4.對電解電池與電化電池的陰陽極之判斷方式不同。

在國內文獻中探討促進學生在學習電化學概念的教學方式多是以電腦來輔助學習，邱美子(2001)針對國三學生使用電腦動畫輔助教學媒體來協助學生建構電化學之微觀概念，研究顯示此方法確實能提升學生學習成效，也能協助學生建立粒子模型的觀念；張秀澂(2002)以電腦動畫教材融入講解式教學法、實

驗教學法以及小組示範實驗教學法進行國中學生的電化學概念研究，研究發現電腦動畫教材融入講解式教學法以及實驗教學法的成效較好；林香岑(2000)以電化學概念教學媒體作為教學輔助工具探究高二升高三學生在電化學概念的學習成效，研究結果顯示使用此教學媒體的學生的學習成效顯著高於未使用者。從上述研究發現在電化學的學習上需要協助學生建立微觀概念，因此本研究教學設計上也著重微觀的教學。

綜合上述，造成學生學習困難的原因為概念本身是抽象的、是微觀的(邱美虹, 2000)，氧化還原和電池、電解概念的確如此，此外學習氧化還原概念還會受到語言的影響。然而，學生建構電池、電解概念會產生困難除了微觀的影響外，可能是因為學生還必須要整合氧化還原概念的知識。因此本研究預探討在不同表徵教學中，有效破除各迷思概念的教學成效為何？

第三節 概念改變

邱美虹(2000)指出科學概念學習困難的原因有下列幾點：1.受到個人經驗的影響，2.概念本身是抽象的，3.概念本身是複雜的，4.概念本身是微觀的。就受個人經驗的影響來說，因為科學概念易與學生的素樸想法相違背(Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008)，因為科學概念與學生的初始信念不相容而導致學生學習困難(Chi, Slotta, & deLeeuw, 1994)，從上述發現學生學習科學時，其先前知識是相當重要的，然而就 Chi(2008)說明學生在科學課室中有三種先前知識的類型，分別為學生對於將要學習的概念沒有先前知識，只是沒有先前概念情況下則學習將發生增加新知識，再者為學生對於將要學習的概念可能有些許正確但是概念是不完整，在此情況下則學生會將填補差距(gap filling)，最後為學生已有想法但與將學習的概念相衝突，這種情況下只能在概念改變下才能獲得知識。前兩者概念獲得為豐富的類型，後者改變先前概念至正確概念，為概念改變類型。

許多學者對於概念改變的想法不盡相同，Posner, Strike, Hewson, 和 Gertzog(1982)根據科學史和科學著學的認識論觀點，認為概念改變需要滿足四大條件：對現存概念不滿足(dissatisfaction)、新概念是可理解的(intelligible)、新概念是合理的(plausible)、新概念是豐富的(fruitful)，需要滿足這四條件後再經歷調適(accommodation)過程才能概念重組並達成概念改變的目的。

Carey(1985)則認為概念改變有輕微的概念改變以及強烈的或根本的概念改變兩種，前者屬於弱重建(weak restructuring)亦指生手獲得缺乏的知識，後者屬於強重建(strong restructuring)亦指理論的改變。

Chi(1992)認為概念改變有兩種，一為概念改變發生在同一本體樹，這類型的概念改變是容易的；另一為概念改變發生在不同的本體樹，這類型的概念改變是困難的，因為科學概念與初始信念的屬性是不相容。本體樹是從本體論的角度分析概念，分成三個類別，分別為實體(entities)、過程(process)以及心智狀態(mental status)，如圖 2-3-1。

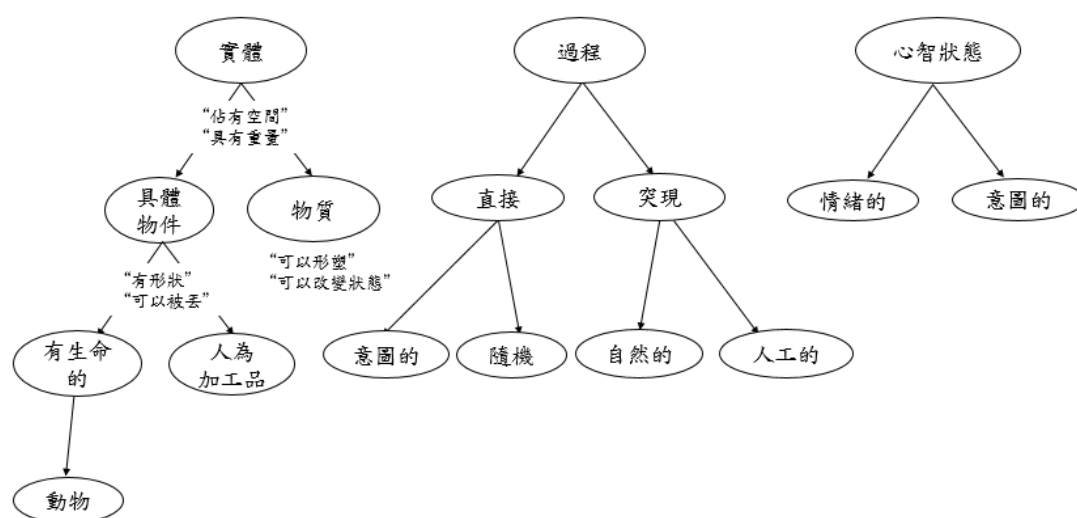


圖 2-3-1 概念本體樹(Chi, 2008)

Vosniadou(1994, 2012)則認為概念改變是緩慢的過程，可以透過豐富與修正兩種方式，豐富是將新資訊增加至既有的概念結構中，這樣的觀念改變較容易發生，修正是涉及個人信念或預想的改變，此概念改變較不易發生。

Vosniadou(1994)針對地球形狀、日夜循環，力以及熱這四個例子提出架構理論(圖 2-3-2)，架構理論中的預設會限制特定理論，而架構理論與特定理論的相互作用後會形成心智模式，心智模式分成三種類型：初始心智模式、合成的心智模式以及科學心智模式。

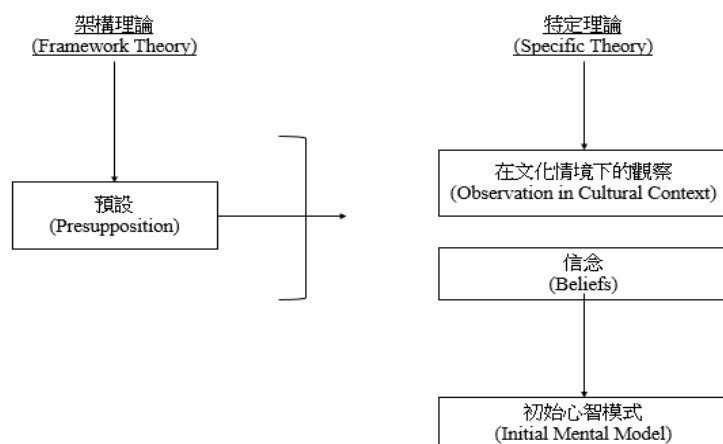


圖 2-3-2 Vosniadou 的架構理論圖(Vosniadou, 1994)

綜合上述，研究者認為概念改變發生有賴於概念本身的難易程度亦或者新概念與學生的先前概念之關係所影響，關係越複雜概念改變越不容易，換句話說，當學生的先前概念和新概念不相容時，要達成概念改變必須要符合四大條件，當學生沒有先前概念或者先前概念是不完整時，可透過教師教學來豐富既有概念結構是較容易。而研究者較認同 Vosniadou(1994)認為概念改變是漸進的過程，學生要將新資訊增加至既有的概念結構中是較容易發生，但若涉及個人信念或預想的改變，此概念改變較不易發生，故本研究預瞭解哪些概念對學生而言是容易概念改變？哪些概念不容易透過多重表徵教學而概念改變？

第四節 電子白板與即時回饋系統

互動式電子白板是一種整合教學資源的新介面，能使教學突破時空限制(陳惠邦, 2006)，互動式電子白板具有高互動性減少教師和學生間的距離(Northcote, Mildenhall, Marshall, & Swan, 2010)。因此，互動式電子白板是一項教學工具，提供教師教學與學生學習有一樣視野的利器，便於教師與學生操作，但教師在教學前必須完善進行教學內容的設計，使內容多樣及豐富，有利於學生學習。為了更能增加電子白板互動性的教學環境，並同時採用即時回饋系統，陳寶山(2008)指出即時回饋系統能提供立即圖像化的回饋，使學生對問題產生反應，並進一步強化學生主動參與討論之動機，並協助教師由答案中立即找出學生的學習問題，充分協助教師評估狀況，有效澄清概念，啟發後續的討論。因此即時回饋系統能立即呈現測驗結果，立即討論，以促進課堂師生互動，更能有效修正學生錯誤概念。

廖乃瑩(2010)以互動式電子白板融入國中二年級理化科教學，並以傳統講授教學作對照，為期兩個月的觀察實驗，研究結果發現互動式電子白板教學有助於學習者應用整合抽象概念，且對於低成就學習者更具顯著效果；陳玉嬋(2011)針對國二學生進行電子白板融入自然科教學的研究，以傳統式教學作為對照組，研究發現電子白板教學對於高成就學生的學習成效有正向影響；劉亦恭和王鄭慈(2010)針對國中學生進行電子白板應用在數學學科的成效，將研究對象分為三組，分別為實施全電子白板教學、實施部分電子白板教學、傳統黑板講述教學，其結果發現學生在數學成就上以部分電子白板教學的組別表現最好，其次為全電子白板教學的組別。回顧國內對於應用電子白板以及即時回饋系統在教學成效上的文獻，發現多數研究對象為國中小的學生或教師，然而針對高中學生進行電子白板和即時回饋系統應用在教學上的研究極少，因此本研究以電子白板作為教學載具，以即時回饋系統當作評量載具，提供互動式的教學環境，教師能即時了解學生的學習成效，能適時修正錯誤概念，因此本研究在情意面向針對高中學生對以電子白板作為教學載具和以即時回饋系統作為評量載具的想法為何？

第參章 研究方法與步驟

本研究主要以氧化還原和電池、電解為教學內容，以多重表徵作為教學設計，以電子白板作為教學載具，以即時回饋系統作為評量載具，並以化學反應測驗試題和概念圖作為評量工具，以下分為六節加以說明，分別為研究對象、研究設計、教學設計、研究工具、研究流程、資料分析與處理。

第一節 研究對象

研究對象分成兩部分，一為預試階段研究對象，另一為正式階段研究對象：

一、預試階段研究對象

預試對象為方便取樣，為新北市某市立高中三年級自然組兩個班級的學生，共 69 人。學生已修畢基礎化學和化學之課程，因此具備高中階段完整的氧化還原反應之概念，且已有基本化學電池簡單原理的概念，因此選擇高三學生作為預試對象。預試所使用的研究工具與正式階段相同，藉此修正試題，再作為正式階段的研究工具。

二、正式階段研究對象

本研究對象為方便取樣，為新北市某市立高中即將升二年級自然組兩個班級的學生，共 65 人。兩個班級是以高一成績 S 型的方式進行分班，因此兩班的平均分數差異不大。此外就學生的先前知識而言，學生都已具備基本的氧化還原概念，包括常見的氧化劑與還原劑及其應用，但都屬於基礎概念。在進入本研究前將兩班隨機分派為實驗組和對照組，兩個組別皆由同一位具有科學教育相關背景並為資深化學種子教師所教導，實驗組學生有 33 人，對照組學生有 32 人。

第二節 研究設計

本研究設計理念以電子白板當作教學載具，以即時回饋系統當作評量載具，並以多重表徵(巨觀、次微觀、符號與語言)作為教學設計理論，因此本研究設計理念如圖 3-2-1。

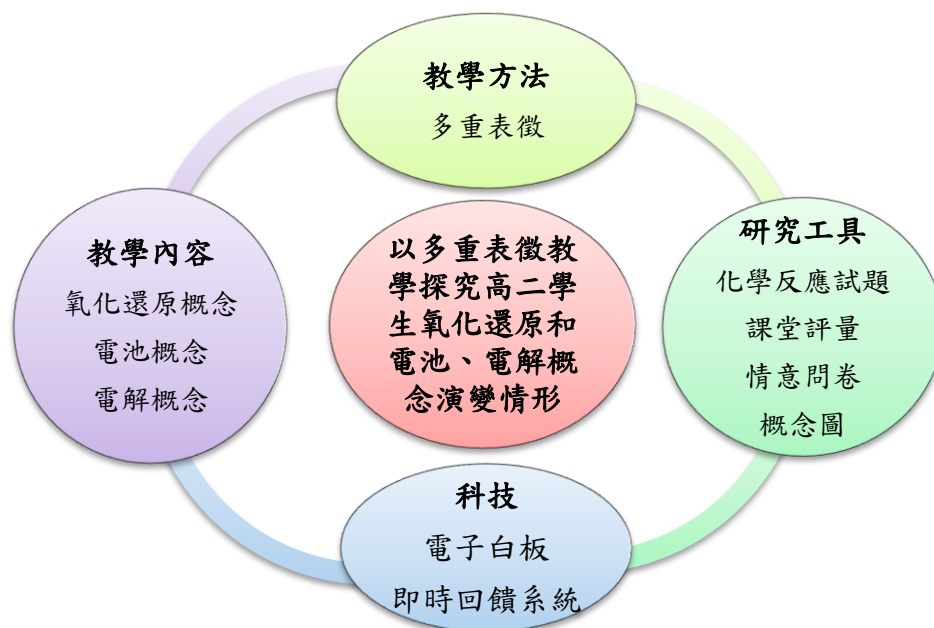


圖 3-2-1 研究理念圖

第三節 教學設計

本研究設計以化學反應測驗試題以及概念圖當作研究工具，以氧化還原和電池、電解概念為教學內容，氧化還原概念的教學時間為四堂課，電池概念的教學時間為一節半的時間，電解概念的教學時間也為一節半的時間，總共七堂課。

對照組和實驗組皆以電子白板作為教學載具，以即時回饋系統作為每堂課的評量載具，實驗組和對照組唯一的差別是實驗組的教材和教學內容是使用明示的次微觀，而對照組則使用暗示的次微觀，其餘巨觀、符號以及語言表徵兩組都有使用。在教學前使用兩種研究工具，分別為化學反應測驗試題與概念圖；教學中只使用了概念圖；教學後再次使用兩種研究工具；最後延宕測驗中，也同樣使用兩種研究工具(圖 3-3-1)。

依據不同表徵的方式來設計教學，兩組的表徵呈現只有在次微觀有所差異，以下就次微觀的部分進行討論。實驗組除了在教學內容中以明示的次微觀表徵進行內容的教學外，實驗組教學內容中還應用了實驗操作影片或動畫，此為巨觀現象的影片或動畫，並搭配解釋其巨觀現象的次微觀影片，最後教師用口語再次解釋，然而對照組的教學內容只應用了與實驗組相同的實驗操作影片或動畫，無提供次微觀影片，但教師輔以口語方式解釋次微觀，而視其教學內容需要提及次微觀的部分則以符號表徵表示並搭配教師口頭解釋次微觀，是屬於暗示次微觀表徵，此外研究者加以控制兩班教學進度，因此兩組的每堂課教學進度相同，每堂課皆為 50 分鐘。

兩組是以電子白板為教學載具進行七堂課的教學，因此每堂教學都有師生互動的部分，在每堂課的教學前和教學後皆有進行以即時回饋系統作為評量載具的測驗，此測驗搭配該堂課的教學內容。本次教學文本是採用國內兩個版本所拼湊而成，其內容為氧化還原和電池、電解概念文本，兩組文本的唯一不同是實驗組教學文本中多了明示次微觀表徵。



圖 3-3-1 教學設計圖

本研究的教學共有七堂課，但由於氧化還原第三堂課以及第四堂課主要概念為氧化還原反應的平衡及滴定，實驗組與對照組在此兩節課的教學內容設計上沒有差異，依據教學內容的安排，最後只有五節課的教學內容有不同，分別為氧化還原概念的第一、二堂課(2 節)以及電池概念第一堂課(1 節)、電池第二堂課／電解第一堂課(1 節)以及電解概念第二堂課(1 節)，以下為每一堂課的教學內容差異表。

從表 3-3-1 中可以知道氧化還原第一堂課的教學內容分成三概念，其中有兩概念的教學內容在實驗組與對照組是不同的，分別為氧化數以及氧化還原反應的定義，前者從元素週期表的資訊呈現上不同，實驗組有最基本的元素週期表外，還有明確的電子以及中子、質子在數量及排列上的呈現，而對照組只有最基本的元素週期表；後者為電負度說明電子轉移，實驗組有以電子點式來輔以說明電子轉移的過程。氧化還原第二堂課的教學內容主要分成兩概念，為氧化反應及還原反應，實驗組有以電子點式來輔助說明。

從表 3-3-2 中實驗組與對照組在電池概念第一堂課教學內容的差異主要在電池機制的部分，實驗組有以次微觀的動畫輔助說明巨觀現象，屬於明示次微觀，而對照組也有以次微觀來說明概念，但沒有次微觀的動畫來輔助，屬於暗示次微觀。而在電池概念第二堂課教學內容的差異主要在鋅銅電池及其機制的部分，兩組都是使用巨觀的實驗影片、符號及語言，但實驗組有以次微觀的動畫呈現巨觀現象，屬於明示次微觀，而對照組也有次微觀來說明概念，但沒有

次微觀的動畫來輔助，屬於暗示次微觀。

實驗組和對照組在電解概念第二堂課的教學內容差異主要在於電解水以及電解硫酸銅溶液的部分，實驗組有明示次微觀的動畫，而對照組只有暗示次微觀，其餘表徵皆相同。

從上述發現兩組在這五堂課的差異中有七個部分不相同，分別為氧化數、氧化還原反應的定義、氧化反應及還原反應、電池機制、鋅銅電池及其原理、電解水、電解硫酸銅溶液，實驗組在這七個部分中都有以明示次微觀的表徵呈現，而對照組只以暗示次微觀的表徵呈現，其餘表徵在兩組的教學內容上都相同。

表 3-3-1 實驗組與對照組在氧化還原概念的教學內容差異

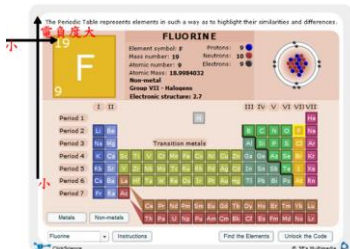
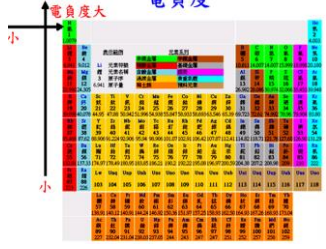
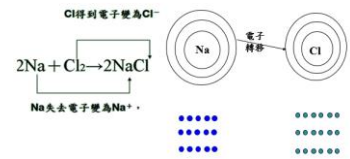
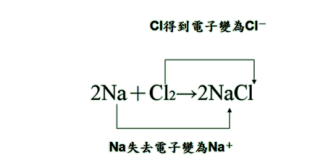
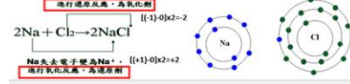
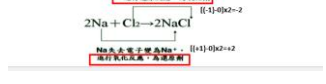
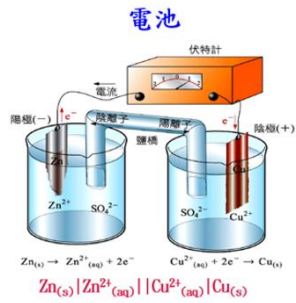
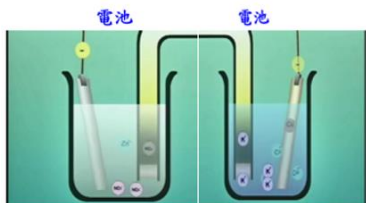
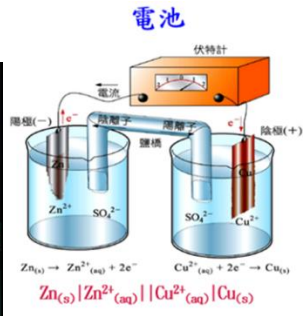
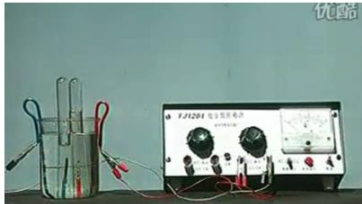
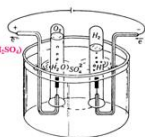
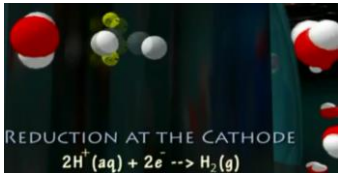
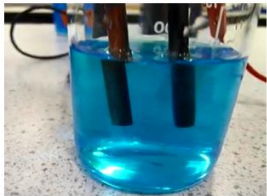
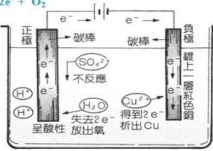
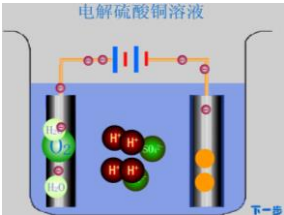
節課	概念內容	實驗組教學內容	對照組教學內容																								
氧化還原 第一節課	氧化數	電負度 	電負度 																								
	氧化還原反應 的定義	氧化還原反應 - 定義：物質間發生電子轉移的行為 - 範例：$2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ Cl得到電子變為Cl⁻ 	氧化還原反應 - 定義：物質間發生電子轉移的行為 - 範例：$2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ Cl得到電子變為Cl⁻ 																								
	分辨 氧化還原反應	同																									
氧化還原 第二堂課	氧化反應	氧化還原反應 - 定義：物質間發生電子轉移的行為 - 範例：$2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ <table><tr><th>反應</th><th>電子得失情形</th><th>在反應中的功用</th><th>名稱</th></tr><tr><td>氧化反應</td><td>失去電子 (氧化數增加)</td><td>使另一種物質還原</td><td>還原劑</td></tr><tr><td>還原反應</td><td>得到電子 (氧化數減少)</td><td>使另一種物質氧化</td><td>氧化劑</td></tr></table> 	反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱	氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑	還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑	氧化還原反應 - 定義：物質間發生電子轉移的行為 - 範例：$2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ <table><tr><th>反應</th><th>電子得失情形</th><th>在反應中的功用</th><th>名稱</th></tr><tr><td>氧化反應</td><td>失去電子 (氧化數增加)</td><td>使另一種物質還原</td><td>還原劑</td></tr><tr><td>還原反應</td><td>得到電子 (氧化數減少)</td><td>使另一種物質氧化</td><td>氧化劑</td></tr></table> 	反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱	氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑	還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑
反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱																								
氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑																								
還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑																								
反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱																								
氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑																								
還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑																								
還原反應																											

表 3-3-2 實驗組與對照組在電池和電解概念的教學內容差異

電池 第一堂課	電池的物理與化學定義	同	
	電池裝置	同	
	電池機制		
電池 第二堂課 /電解 第一堂課	電池		無
	鋅銅電池及其原理		
	還原、氧化電位	同	
	電解原理及定義	同	

電解 第二堂課	電解裝置 及機制	同	
	電解水		電解水 加入少量硫酸(H_2SO_4) 陰極: $2\text{H}^+_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$ (H⁺來自H_2SO_4) 陽極: $2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightarrow 4\text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{O}_{2(\text{g})} + 4\text{e}^-$ 全反應: $2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightarrow 2\text{H}_{2(\text{g})} + \text{O}_{2(\text{g})}$ 
		 REDUCTION AT THE CATHODE $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	無
	電解 硫酸銅溶液		電解硫酸銅溶液 全反應: $\text{H}_2\text{O} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{Cu} + \text{O}_2$ 負極半反應: $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 正極半反應: $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2$ 
		 電解硫酸銅溶液 下一頁	無

第四節 研究工具

本研究所使用的工具可分為量化及質性工具，前者為化學反應測驗試題、課堂即時回饋系統的評量以及情意問卷，後者為概念圖。研究工具設計的目的與使用時機如下表 3-4-1。

表 3-4-1 研究工具的設計

研究工具	研究目的	使用時機
量化 工具	研究目的二. 探討利用即時回饋系統評量學生課堂中的概念改變情形。	教學前 教學後 延宕測驗
	研究目的三. 探討學生在多重表徵教學活動過程的概念演變之情形。	教學前 教學中 教學後 延宕測驗
	研究目的四. 探討學生在多重表徵教學活動的學習態度之情形。	教學後
質性 工具	研究目的三. 探討學生在多重表徵教學活動過程的概念演變之情形。	教學前 教學中 教學後 延宕測驗
	研究目的四. 探討學生在多重表徵教學活動的學習態度之情形。	教學後

一、化學反應測驗試題

試題是由國科會計畫—化學教育中建模模式的研發與實踐—子計畫四(邱美虹, 2008)進行修改，再由三位專家進行審查，分別為一位大學化學科教授，二為高中資深化學教師，專家效度的同意度為 89%，再從專家們給予的意見進行修改。預試對象為 69 位高三學生，已具備完整的氧化還原概念以及基本的電池機制，試題信度為 0.883。

化學反應測驗試題的內容有氧化還原和電池、電解概念，本試題依據本研究概念圖進行設計(附錄一)，再製作試題雙向細目表(附錄二)，本工具有六大題組，題組一為主要判別非氧化還原概念與氧化還原概念，題組二為金屬冶煉，題組三為漂白劑與自來水淨化處理的日常生活情境，題組四為鎳銅電池，題組五為粗銅精製，最後題組六為開放式問答，電池與電解的比較。最後試題共有 59 題，其中有 9 題為開放式試題，有 6 題填充題，每一題組有一題信心程度，其餘 38 題皆為單選題。

二、課堂評量

課堂評量是依據該堂課的教學內容所設計(附錄四)，課堂評量的使用時機是在課堂的教學前以及教學後，本次課堂評量只使用在五節課中，分別為氧化還原第一、二堂課(2 節)以及電池第一堂課(1 節)、電池第二堂課／電解第一堂課(1 節)、和電解第二堂課(1 節)。

三、情意問卷

學習情意問卷改編自鍾曉蘭(2007)情意問卷，本問卷有四題開放式問題，其餘皆為李克氏量表。問卷分別針對實驗影片（巨觀）和粒子影片（次微觀）設計三種問題，分別為增進概念理解、提升學習興趣以及造成學習負擔三個面向，此外，針對電子白板和即時回饋系統設計兩種問題，分別為提升學習興趣及造成學習負擔兩個面向，再以開放式問題來了解學生對於各項的優缺點或者改進之處，藉此提出本次研究協助學生之處，並藉此修正教學活動設計。

四、概念圖

概念圖是由研究者提供氧化還原和電池、電解概念中可能會出現的專有名詞，同時提供學生繪製概念圖的規則（附錄五），在教學前、中、後以及延宕分別讓學生繪製概念圖，以瞭解學生的內在表徵。

第五節 研究流程

本研究流程如圖 3-5-1：

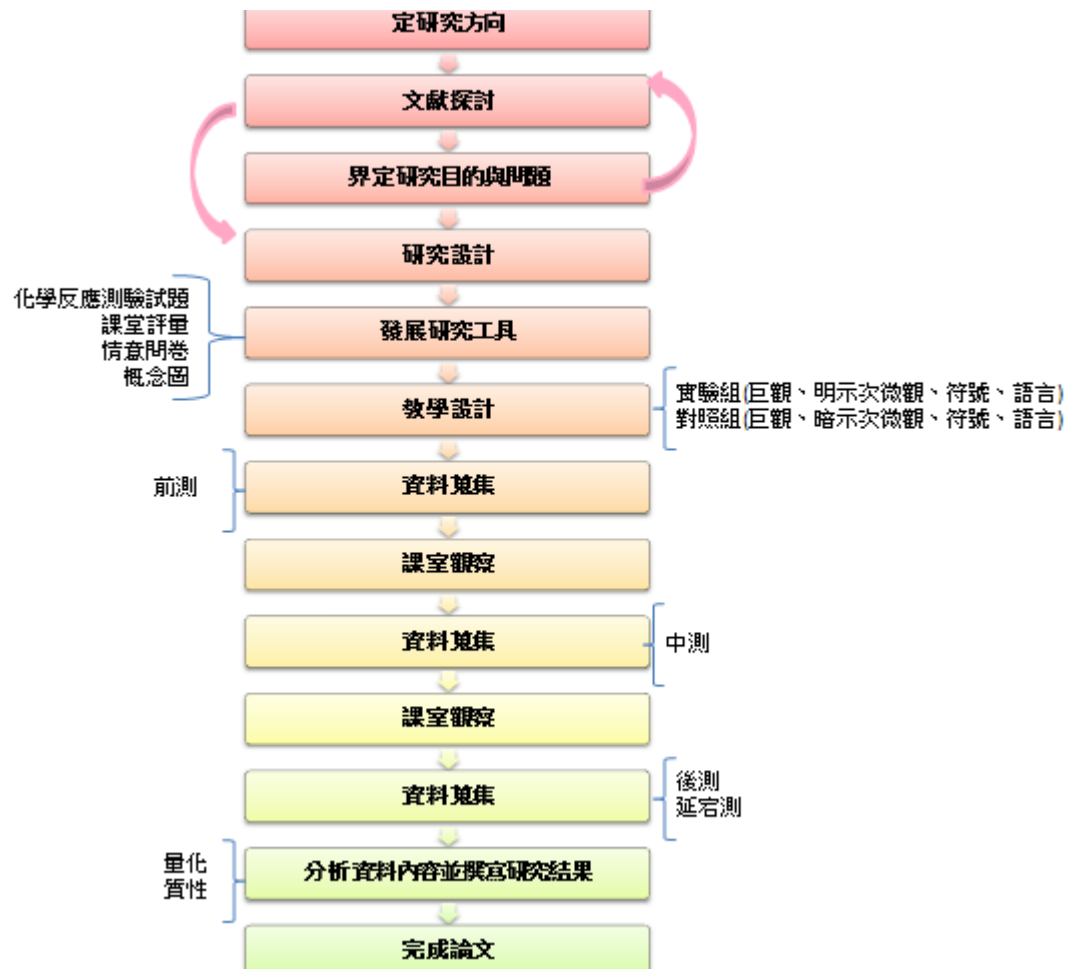


圖 3-5-1 研究流程圖

第六節 資料處理和分析

一、化學反應測驗試題

將試題依概念分為氧化還原概念、電池概念以及電解概念，分別計算學生答對的題數，除以各概念的總題數，即可得答對率。再使用 SPSS 進行成對 t-test，比較每一組學生前測、後測以及延宕測驗間是否有進步。再使用 SPSS 進行獨立 t-test，比較實驗組和對照組的前測是否達顯著差異。最後使用共變數分析，比較實驗組和對照組兩組的後測、延宕測驗與前測相比較是否有顯著進步。

二、課堂評量

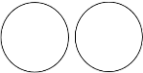
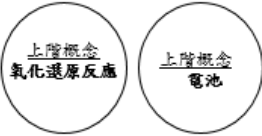
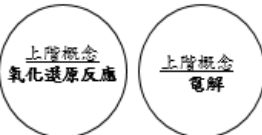
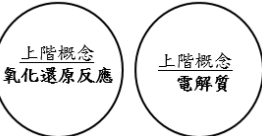
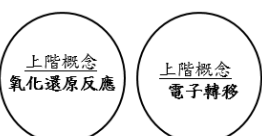
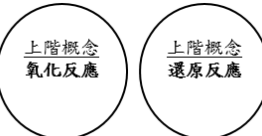
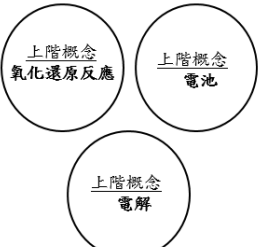
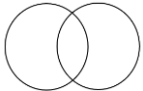
依照每一堂課，分別計算學生的答對題數，除以各概念的總題數，計算答對率。再使用 SPSS 進行成對 t-test，比較每一組學生在該堂教學前、教學後是否有進步。再使用 SPSS 進行獨立 t-test，比較實驗組和對照組在教學前是否達顯著差異。最後使用共變數分析，比較實驗組和對照組兩組的教學後測與前測相比較是否有顯著進步。

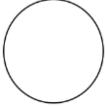
三、概念圖

依照學生在教學前、中、後以及延宕所繪製的概念圖進行概念類型的分類，再從分析結果瞭解學生在教學前、中、後以及延宕的概念類型演變的路徑。

概念類型的分類方式是針對學生在概念圖試題中所呈現的上階概念進行分類，共分為 12 類(表 3-6-1)，A 至 G 概念類型屬於獨立的類別，為上階概念彼此間關係是屬於互相獨立存在；H 至 I 概念類型屬於相交的類別，為上階概念間有一重要概念作交集，J 至 L 概念類型屬於交互作用的類別，為上階概念是氧化還原概念，其餘概念是緊密相連結。

表 3-6-1 概念類型及編碼表

類別	概念類型	編碼	定義
獨立  上階概念間彼此獨立存在		A	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電池，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集。
		B	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集。
		C	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解質，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集。
		D	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電子轉移，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集。
		E	上階概念有兩個，分別為氧化反應以及還原反應，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集。
		F	上階概念有三個，分別為氧化還原反應、電池以及電解，這三個上階概念是獨立存在，沒有交集。
	其他(四個以上)	G	上階概念是四個以上，這些上階概念都是獨立存在，沒有交集。
相交 		H	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電池，這兩個上階概念間有一重要概念作交集，此概念為電子移動。

兩個上階概念間會有一重要概念作交集		I	上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解，這兩個上階概念間有一重要概念作交集，此概念為電子轉移。
交互作用  以氧化還原概念為上階概念，將所有概念緊密連結		J	上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結，但認為電子能在鹽橋中移動。
		K	上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結，但認為電解質中離子間會電子交換，其交換方式為氧化還原。
		L	上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結。

本研究的受試者共有 65 位學生，每位學生有四份概念圖，共 260 份。本次評分者一致性是以兩位評分者進行 87 份概念圖類型的編碼，評分者一致性達 96.6%，兩位評分者意見不同部分，再經過討論後達成共識。

四、情意問卷

本問卷採用的是李克氏量表的四等第—非常同意、同意、不同意、非常不同意，非常同意給予 2 分、同意給予 1 分、不同意給予-1 分、非常不同意給予-2 分，問卷將以量化的方式呈現，開放式部分則進行意見統計與整理作為教學改進的參考。

第肆章 研究結果與討論

本章主要是透過本研究中的各種研究工具所蒐集的資料，進行資料的分析與討論，以瞭解並回應所有的研究問題，本章共分為四節，第一節在探討兩組學生在教學前、後與延宕測驗的表現，以回應研究目的的一的問題；第二節在探討兩組學生在五節課堂中的概念改變情形，以回應研究目的二的問題；第三節在探討學生在多重表徵的教學活動中的概念演變的情形，以回應研究目的三；第四節則為學生情意面向的分析，探討多重表徵教學活動的學習態度，以回應研究目的四。

第一節 教學成效的分析

本節研究是以化學反應測驗試題診斷升高二學生對於氧化還原概念、電池概念、電解概念在多重表徵教學前、後與延宕測驗的表現，因此，本階段分成四部份討論：第一部分為兩組學生在教學前、教學後以及延宕測驗中的答題分析；第二部分為分析實驗組與對照組兩組學生先備概念，藉以瞭解兩組學生的起點行為是否相近？其概念為何？是否與文獻相互呼應？第三部分為實驗組學生教學成效，藉以瞭解學生經過明示的次微觀多重表徵教學是否達顯著差異？第四部分為對照組學生教學成效，藉以瞭解學生經過多暗示的次微觀多重表徵教學是否達顯著差異？第五部份為實驗組與對照組兩組學生教學成效比較，藉以瞭解不同的多重表徵教學是否達顯著差異？如果兩組教學達到顯著差異再進一步探討哪些教學活動有助於學生的學習？第六部分為小結。

一、兩組學生在教學前、教學後以及延宕測驗中的答題分析

從化學反應測驗試題(附錄三)中挑選部分試題來分析兩組學生對於電池機制以及電解機制的表現，分別為 4-6 至 4-8、4-9 至 4-11 為電池機制，5-6 至 5-8、5-9 至 5-11 為電解機制，共為四部分。每一部分都是跳答方式作答，舉例來說：第一部分的 4-7 以及 4-8 會依照學生在 4-6 所選擇的答案而跳答，因此學生在 4-6 選擇 A 或 B，則不需要作答 4-7 以及 4-8；若學生在 4-6 選擇 C 選項，那學生就只要作答 4-7-I 以及 4-8-I；若學生在 4-6 選擇 D 選項，那學生就只要作答 4-7-II 以及 4-8-II，以此類推每一部分。

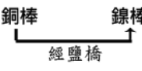
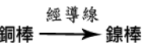
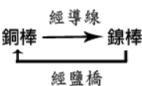
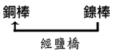
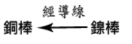
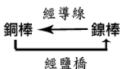
從表 4-1-1 中可以發現在教學前有 54.5% 的實驗組學生選擇 4-6(C) 選項電子從銅棒至鎳棒，而這群學生在 4-7-I 中有 18.2% 的學生選擇(A) 選項：電子只經由鹽橋，其理由大多為 4-8-I 的(A-1) 選項：因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。另外有 27.3% 的學生會選擇(B) 選項：電子只經由導線，其理由大多為 4-8-I 的(B-1) 選項：因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。再從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.5，1 為非常沒有信心、2 為沒信心、3 為有信心、4 為非常有信心)

在教學後有 75.8% 的學生選擇 4-6(D) 選項電子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-7- II 中有 63.6% 的學生會選擇(B) 選項電子只經由導線，其理由大多為 4-8-II 的(B-1) 選項：因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。學生在教學後的作答情況是偏向有信心(平均分數為 2.7)。

在延宕測驗中有 78.8% 的學生選擇 4-6(D) 選項電子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-7- II 中有 63.6% 的學生會選擇(B) 選項電子只經由導線，其理由大多為 4-8-II 的(B-1) 選項：因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。學生在延宕測驗中的作答情況較無信心(平均分數為 2.5)。

此外，從下表中還可以發現不論在教學前、教學後以及延宕測驗中，仍有部分學生會認為電子可以經導線到達另一極，再經過鹽橋回到極棒，仍然不清楚電子移動的情形。

表 4-1-1 實驗組學生在第一部分的答題表現

4-6 試問，此裝置中電子移動的方向為何？(n=33)					百分比%					
					前	後	延			
(A) 像交流電一樣，無一定方向					0.0	0.0	0.0			
(B) 在裝置中電子不會移動					3.0	0.0	3.0			
(C) 電子從銅棒至鎳棒					54.5	24.2	18.2			
(D) 電子從鎳棒至銅棒					42.4	75.8	78.8			
4-7-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-8-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		18.2	0.0	0.0	(A-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-2)因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。	12.1	0.0	0.0		
						0.0	0.0	0.0		
						6.1	0.0	0.0		
(B)		27.3	15.2	6.1	(B-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-2)因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經銅棒與導線回到安培計。	24.2	12.1	0.0		
						3.0	3.0	3.0		
						0.0	0.0	3.0		
						0.0	0.0	0.0		
(C)		9.1	9.1	12.1	(C-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒，並經鹽橋回到銅棒而形成通路。 (C-2)因為銅棒較易得到電子，所以硫酸鎳中的電子會經由鹽橋被銅棒吸引，電子再經由導線回到鎳棒而形成通路。 (C-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被銅棒吸引，再經導線到鎳棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且再經由鹽橋、銅棒與導線回到安培計。	0.0	6.1	9.1		
						6.1	0.0	3.0		
						3.0	3.0	0.0		
						0.0	0.0	0.0		
4-7-II 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-8-II 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		9.1	3.0	0.0	(A-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。	6.1	0.0	0.0		
						0.0	3.0	0.0		
						3.0	0.0	0.0		
(B)		24.2	63.6	63.6	(B-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。 (B-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經鎳棒與導線回到安培計。	18.2	54.5	54.5		
						0.0	3.0	6.1		
						3.0	3.0	3.0		
						3.0	3.0	0.0		
(C)		9.1	9.1	15.2	(C-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒，並經鹽橋回到鎳棒而形成通路。 (C-2)因為鎳棒較易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由鹽橋被鎳棒吸引，電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (C-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被鎳棒吸引，再經導線到銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且再經由鹽橋、鎳棒與導線回到安培計。	0.0	6.1	15.2		
						0.0	0.0	0.0		
						9.1	3.0	0.0		

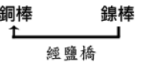
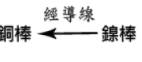
從表 4-1-2 中可以發現在教學前有 62.5%的對照組學生選擇 4-6(C)選項電子從銅棒至鎳棒，而這群學生在 4-7-I 中有 25.0%的學生會選擇(B)選項：電子只經由導線，其理由大多為 4-8-I 的(B-1)選項：因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。另外有 25.0%的學生選擇(C)選項：電子會經導線也會經由鹽橋，12.5%學生的理由為 4-8-I 的(C-1)選項：因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒，並經鹽橋回到銅棒而形成通路；12.5%學生的理由為 4-8-I 的(C-2)選項：因為銅棒較易得到電子，所以硫酸鎳中的電子會經由鹽橋被銅棒吸引，電子再經由導線回到鎳棒而形成通路。另外再從答題信心程度發現對照組學生在教學前的作答是沒有信心(平均分數為 2.0，1 為非常沒有信心、2 為沒信心、3 為有信心、4 為非常有信心)

在教學後有 56.3%的學生選擇 4-6(C)選項電子從銅棒至鎳棒，而這群學生在 4-7-I 中有 53.1%的學生會選擇(B)選項：電子只經由導線，其理由大多為 4-8-I 的(B-1)選項：因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。學生在教學後的作答情況是較沒信心(平均分數為 2.5)。

在延宕測驗中有 56.3%的學生選擇 4-6(D)選項電子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-7- II 中有 46.9%的學生會選擇(B)選項電子只經由導線，其理由大多為 4-8-II 的(B-1)選項：因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。學生在延宕測驗中的作答情況較無信心(平均分數為 2.1)。

此外，從下表中還可以發現不論在教學前、教學後以及延宕測驗中，仍有部分學生會認為電子可以經導線到達另一極，再經過鹽橋回到極棒，仍然不清楚電子移動的情形。

表 4-1-2 對照組學生在第一部分的答題表現

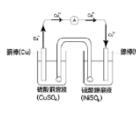
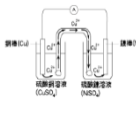
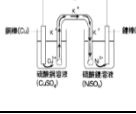
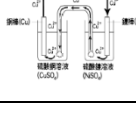
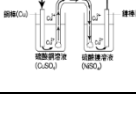
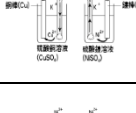
4-6 試問，此裝置中電子移動的方向為何？(n=32)					百分比%					
					前	後	延			
(A) 像交流電一樣，無一定方向					0.0	0.0	0.0			
(B) 在裝置中電子不會移動					0.0	0.0	0.0			
(C) 電子從銅棒至鎳棒					62.5	56.3	43.8			
(D) 電子從鎳棒至銅棒					37.5	43.8	56.3			
4-7-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-8-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		12.5	0.0	0.0	(A-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-2)因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。			9.4	0.0	0.0
								3.1	0.0	0.0
								0.0	0.0	0.0
(B)		25.0	53.1	43.8	(B-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-2)因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經銅棒與導線回到安培計。			18.8	43.8	28.1
								6.3	3.1	3.1
								0.0	3.1	0.0
(C)		25.0	3.1	0.0	(C-1)因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒，並經鹽橋回到銅棒而形成通路。 (C-2)因為銅棒較易得到電子，所以硫酸鎳中的電子會經由鹽橋被銅棒吸引，電子再經由導線回到鎳棒而形成通路。 (C-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被銅棒吸引，再經導線到鎳棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且再經由鹽橋、銅棒與導線回到安培計。			12.5	0.0	3.1
								12.5	0.0	6.3
								0.0	0.0	0.0
								0.0	0.0	0.0
4-7-II 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-8-II 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		3.1	3.1	0.0	(A-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。			3.1	0.0	0.0
								0.0	0.0	0.0
								0.0	3.1	0.0
(B)		9.4	37.5	46.9	(B-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。 (B-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經鎳棒與導線回到安培計。			3.1	34.4	43.8
								3.1	0.0	3.1
								3.1	3.1	0.0
								0.0	0.0	0.0
(C)		25.0	3.1	9.4	(C-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒，並經鹽橋回到鎳棒而形成通路。 (C-2)因為鎳棒較易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由鹽橋被鎳棒吸引，電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (C-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被鎳棒吸引，再經導線到銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到鎳棒，並且再經由鹽橋、鎳棒與導線回到安培計。			12.5	0.0	3.1
								9.4	0.0	6.3
								3.1	0.0	0.0
								0.0	3.1	0.0

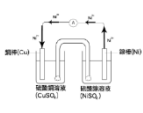
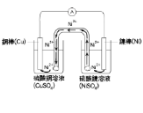
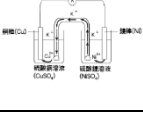
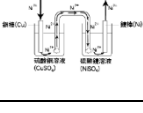
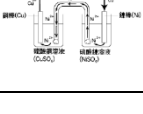
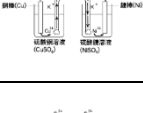
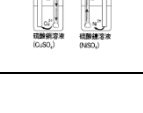
從表 4-1-3 中可以發現在教學前有 21.2% 的實驗組學生選擇 4-9(A) 陽離子自由隨處亂動，有 36.4% 的實驗組學生選擇 4-9(B) 選項陽離子不會移動，有 21.2% 的學生選擇 4-9(C) 陽離子從銅棒至鎳棒，而這群學生在 4-10-I 中有 12.1% 的學生選擇(B) 選項，其理由大多是因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。另外 21.2% 學生選擇 4-9(D) 陽離子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-10-II 中有 9.1% 的學生選擇(B) 選項，而這些學生所持的理由都不同。再從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.5)。

在教學後有 66.7% 的學生選擇 4-9(D) 選項陽離子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-10- II 中有 42.4% 的學生會選擇(C) 選項，其理由大多為 4-11-II 的(C-2)：銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。學生在教學後的作答情況是偏向有信心(平均分數為 2.7)。

在延宕測驗中有 66.7% 的學生選擇 4-9(D) 選項陽離子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-10- II 中有 48.5% 的學生會選擇(C) 選項，其理由大多為 4-11-II 的(C-2)：銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。學生在延宕測驗的作答情況是較無信心(平均分數為 2.5)。

表 4-1-3 實驗組學生在第二部分的答題表現

4-9 試問，此裝置中陽離子移動的方向為何？(n=33)					百分比%					
					前	後	延			
(A)陽離子自由隨處亂動					21.2	9.1	9.1			
(B)陽離子不會移動					36.4	3.0	3.0			
(C)從銅棒至鎳棒					21.2	21.2	21.2			
(D)從鎳棒至銅棒					21.2	66.7	66.7			
4-10-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-11-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		0.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(A-2)因為正負相吸，硫酸銅溶液中Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(A-3)因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。	0.0	0.0	0.0		
(B)		12.1	0.0	6.1	(B-1)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。	9.1	0.0	0.0		
					(B-2)因為正負相吸，硫酸銅溶液中Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。	3.0	0.0	6.1		
					(B-3)因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。	0.0	0.0	0.0		
(C)		3.0	15.2	9.1	(C-1)因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。	0.0	0.0	0.0		
					(C-2)鎳棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。	3.0	15.2	9.1		
(D)		0.0	3.0	3.0	(D-1)銅棒發生氧化所以釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	3.0	0.0		
					(D-2)銅棒釋出的Cu ²⁺ ，且因為正負相吸，所以Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(D-3)硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	3.0		
(E)		0.0	0.0	0.0	(E-1)銅棒發生氧化釋出的Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(E-2)銅棒釋出的Cu ²⁺ ，且因為正負相吸，所以Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(E-3)硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
(F)		3.0	3.0	3.0	(F-1)因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(F-2)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	3.0	3.0	3.0		
					(F-3)因為正負相吸，硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
(G)		3.0	0.0	0.0	(G-1)因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的Ni ²⁺ 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(G-2)因為正負相吸，鎳棒釋出的Ni ²⁺ 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	3.0	0.0	0.0		
					(G-3)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的Ni ²⁺ 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	0.0		

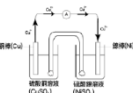
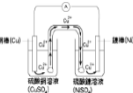
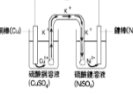
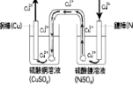
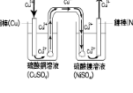
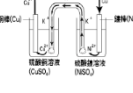
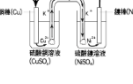
4-10-II 試問， 此裝置中電子 移動的情形為 何？		百分比%			4-11-II 承上題，造成電子移 動的原因為何？	百分比%		
		前	後	延		前	後	延
(A)		0.0	0.0	3.0	(A-1)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。	0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	3.0
(B)		9.1	15.2	9.1	(B-1)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-2)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-3)因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。	3.0	0.0	3.0
						3.0	0.0	0.0
						3.0	15.2	6.1
(C)		3.0	42.4	48.5	(C-1)因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。 (C-2)銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。	0.0	0.0	0.0
						3.0	42.4	48.5
(D)		3.0	3.0	0.0	(D-1)鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-2)鎳棒釋出的 Ni^{2+} ，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-3)硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	0.0
						3.0	0.0	0.0
						0.0	3.0	0.0
(E)		0.0	6.1	0.0	(E-1)鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-2)鎳棒釋出的 Ni^{2+} ，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-3)硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。	0.0	3.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	3.0	0.0
(F)		0.0	0.0	0.0	(F-1)因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-2)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-3)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
(G)		6.1	0.0	6.1	(G-1)因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-2)因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-3)因為正負相吸，硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	3.0	0.0	0.0
						3.0	0.0	3.0
						0.0	0.0	3.0

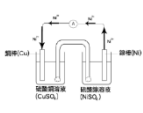
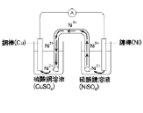
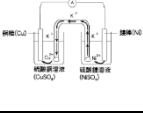
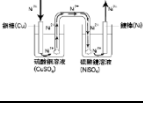
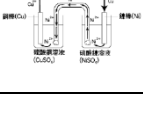
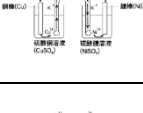
從表 4-1-4 中可以發現在教學前有 56.3% 的對照組學生選擇 4-9(B) 陽離子不會移動，從答題信心程度發現學生在教學前的作答是沒信心(平均分數為 2.0)。

在教學後有 46.9% 的學生選擇 4-9(D) 選項陽離子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-10- II 中有 31.3% 的學生會選擇(C) 選項，其理由大多為 4-11-II 的(C-2)：銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。學生在教學後的作答情況是較無信心(平均分數為 2.5)。

在延宕測驗中有 50.0% 的學生選擇 4-9(D) 選項陽離子從鎳棒至銅棒，而這群學生在 4-10- II 中有 31.3% 的學生會選擇(C) 選項，其理由大多為 4-11-II 的(C-2)：銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。學生在延宕測驗的作答情況是沒有信心(平均分數為 2.1)。

表 4-1-4 對照組學生在第二部分的答題表現

4-9 試問，此裝置中陽離子移動的方向為何？(n=32)					百分比%					
					前	後	延			
(A)陽離子自由隨處亂動					9.4	9.4	6.3			
(B)陽離子不會移動					56.3	12.5	0.0			
(C)從銅棒至鎳棒					15.6	31.1	43.8			
(D)從鎳棒至銅棒					18.8	46.9	50.0			
4-10-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			4-11-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		0.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(A-2)因為正負相吸，硫酸銅溶液中Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(A-3)因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。	0.0	0.0	0.0		
(B)		6.3	9.4	15.6	(B-1)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。	3.1	0.0	3.1		
					(B-2)因為正負相吸，硫酸銅溶液中Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(B-3)因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。	3.1	9.4	12.5		
(C)		3.1	21.9	25.0	(C-1)因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。	0.0	3.1	9.4		
					(C-2)鎳棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。	3.1	18.8	15.6		
(D)		0.0	0.0	0.0	(D-1)銅棒發生氧化所以釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(D-2)銅棒釋出的Cu ²⁺ ，且因為正負相吸，所以Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(D-3)硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
(E)		0.0	0.0	0.0	(E-1)銅棒發生氧化釋出的Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(E-2)銅棒釋出的Cu ²⁺ ，且因為正負相吸，所以Cu ²⁺ 會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(E-3)硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
(F)		3.1	0.0	0.0	(F-1)因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
					(F-2)因為正負相吸，銅棒釋出的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	3.1	0.0	0.0		
					(F-3)因為正負相吸，硫酸銅溶液中的Cu ²⁺ 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。	0.0	0.0	0.0		
(G)		3.1	0.0	3.1	(G-1)因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的Ni ²⁺ 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	0.0		
					(G-2)因為正負相吸，鎳棒釋出的Ni ²⁺ 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	3.1	0.0	0.0		
					(G-3)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的Ni ²⁺ 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。	0.0	0.0	3.1		

4-10-II 試問， 此裝置中電子 移動的情形為 何？		百分比%			4-11-II 承上題，造成電子移 動的原因為何？		百分比%		
		前	後	延			前	後	延
(A)		0.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。		0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
(B)		6.3	15.6	15.6	(B-1)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-2)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-3)因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。		0.0	6.3	0.0
							3.1	0.0	0.0
							3.1	9.4	15.6
(C)		3.1	31.3	31.3	(C-1)因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。 (C-2)銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。		0.0	3.1	6.3
							3.1	28.1	25.0
(D)		0.0	0.0	0.0	(D-1)鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-2)鎳棒釋出的 Ni^{2+} ，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-3)硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。		0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
(E)		0.0	0.0	0.0	(E-1)鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-2)鎳棒釋出的 Ni^{2+} ，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-3)硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。		0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
(F)		9.4	0.0	0.0	(F-1)因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-2)因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-3)因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。		0.0	0.0	0.0
							6.3	0.0	0.0
							3.1	0.0	0.0
(G)		0.0	0.0	3.1	(G-1)因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-2)因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-3)因為正負相吸，硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。		0.0	0.0	3.1
							0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0

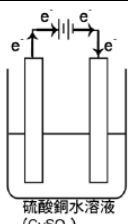
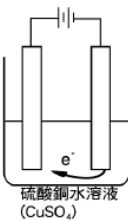
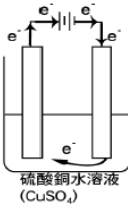
從表 4-1-5 中可以發現在教學前有 60.6%的實驗組學生選擇 5-6(C)選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 33.3%的學生選擇(C)選項，其理由大多為 5-8-I 的(C-3)選項：因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達右邊的銅棒，並且電子經由水溶液到達左邊銅棒，再經導線回到外加電壓。再從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.7)。

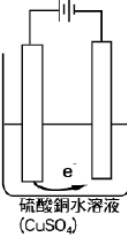
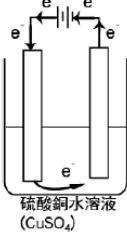
在教學後有 78.8%的實驗組學生選擇 5-6(C)選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 54.5%的學生選擇(A)選項，其中 27.3%學生的理由為 5-8-I 的(A-4)選項：因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達右邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經左邊銅棒與導線回到外加電壓，另外 24.2%學生理由為 5-8-I 的(A-1)選項：因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。從答題信心程度發現學生在教學後的作答是偏向有信心(平均分數為 2.8)。

在延宕測驗中有 78.8%的學生的實驗組學生選擇 5-6(C)選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 51.5%的學生選擇(A)選項，其中 33.3%學生的理由為 5-8-I 的(A-1)選項：因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。從答題信心程度發現學生在延宕測驗的作答是偏向無信心(平均分數為 2.4)。

此外，從下表中還可以發現不論在教學前、教學後以及延宕測驗中，仍有部分學生會認為電子可以在溶液中移動，仍然不清楚電解中電子移動的情形。

表 4-1-5 實驗組學生在第三部分的答題表現

5-6 試問，此裝置中電子移動的方向為何？(n=33)				百分比%					
				前	後	延			
(A) 像交流電一樣，無一定方向				3.0	0.0	0.0			
(B) 在裝置中電子不會移動				3.0	0.0	0.0			
(C) 順時針方向				60.6	78.8	78.8			
(D) 逆時針方向				33.3	21.2	21.2			
5-7-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-8-I 承上題，造成電子移動的原因為何？		百分比%		
		前	後	延			前	後	延
(A)	 硫酸銅水溶液 (CuSO ₄)	21.2	54.5	51.5	(A-1)因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。 (A-2)因為左邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到右邊銅棒，以維持電中性。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。 (A-4)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到右邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經左邊銅棒與導線回到外加電壓。		15.2	24.2	33.3
							3.0	3.0	0.0
							0.0	0.0	3.0
							3.0	27.3	15.2
(B)	 硫酸銅水溶液 (CuSO ₄)	6.1	0.0	0.0	(B-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒而形成通路。 (B-2)因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒，以維持電中性。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的左邊銅棒吸引過去。		3.0	0.0	0.0
							3.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
(C)	 硫酸銅水溶液 (CuSO ₄)	33.3	24.2	27.3	(C-1)因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到左邊銅棒而形成通路。 (C-2)因為左邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到左邊銅棒，電子會再經導線到右邊銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-3)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到右邊的銅棒，並且電子經由水溶液到左邊銅棒，再經導線回到外加電壓。		6.1	3.0	6.1
							9.1	3.0	3.0
							18.2	18.2	18.2

5-7-II 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-8-II 承上題，造成電子移動的原因為何？		百分比%		
		前	後	延			前	後	延
(A)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	6.1	12.1	15.2	(A-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒而形成通路。 (A-2)因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到左邊銅棒，以維持電中性。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。 (A-4)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到左邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經右邊銅棒與導線回到外加電壓。		3.0	3.0	12.1
							0.0	0.0	0.0
							0.0	3.0	0.0
							3.0	6.1	3.0
(B)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	0.0	0.0	0.0	(B-1)因為左邊銅棒易失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅棒而形成通路。 (B-2)因為左邊銅棒易發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅棒，以維持電中性。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的右邊銅棒吸引過去。		0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
							0.0	0.0	0.0
(C)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	27.3	9.1	6.1	(C-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到右邊銅棒而形成通路。 (C-2)因為右邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到右邊銅棒，電子會再經導線到左邊銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-3)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到左邊的銅棒，並且電子經由水溶液到達右邊銅棒，再經導線回到外加電壓。		6.1	6.1	3.0
							12.1	3.0	3.0
							9.1	0.0	0.0

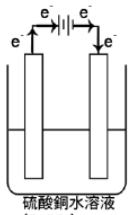
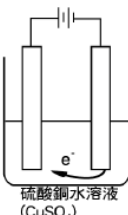
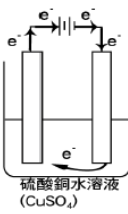
從表 4-1-6 中可以發現在教學前有 50.0% 的對照組學生選擇 5-6(C) 選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 37.5% 的學生選擇 (C) 選項，其中 18.8% 的學生理由為 5-8-I 的 (C-1) 選項：因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒，並經過硫酸銅溶液回到左邊銅棒而形成通路；另外 18.8% 學生的理由為 5-8-I 的 (C-2) 選項：因為左邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到左邊銅棒，電子會再經導線到右邊銅棒，以維持整個電路的電中性。從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.8)。

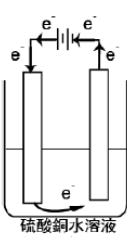
在教學後有 71.9% 的對照組學生選擇 5-6(C) 選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 62.5% 的學生選擇 (A) 選項，其中 43.8% 學生的理由為 5-8-I 的 (A-1) 選項：因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。從答題信心程度發現學生在教學後的作答是偏向有信心(平均分數為 2.6)。

在延宕測驗中有 68.8% 的學生的對照組學生選擇 5-6(C) 選項電子以順時針方向移動，而這群學生在 5-7-I 中有 56.3% 的學生選擇 (A) 選項，其中 43.8% 學生的理由為 5-8-I 的 (A-1) 選項：因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。從答題信心程度發現學生在延宕測驗的作答是偏向無信心(平均分數為 2.2)。

此外，從下表中還可以發現不論在教學前、教學後以及延宕測驗中，仍有部分學生會認為電子可以在溶液中移動，仍然不清楚電解中電子移動的情形。

表 4-1-6 對照組學生在第三部分的答題表現

5-6 試問，此裝置中電子移動的方向為何？(n=32)					百分比%					
					前	後	延			
(A) 像交流電一樣，無一定方向					3.1	0.0	0.0			
(B) 在裝置中電子不會移動					0.0	3.1	0.0			
(C) 順時針方向					50.0	71.9	68.8			
(D) 逆時針方向					46.9	25.0	31.3			
5-7-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-8-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		12.5	62.5	56.3	(A-1)因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。			6.3	43.8	43.8
					(A-2)因為左邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到右邊銅棒，以維持電中性。			3.1	0.0	3.1
					(A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。			0.0	3.1	6.3
					(A-4)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到右邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經左邊銅棒與導線回到外加電壓。			3.1	15.6	3.1
(B)		0.0	0.0	3.1	(B-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒而形成通路。			0.0	0.0	3.1
					(B-2)因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒，以維持電中性。			0.0	0.0	0.0
					(B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的左邊銅棒吸引過去。			0.0	0.0	0.0
(C)		37.5	9.4	9.4	(C-1)因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到左邊銅棒而形成通路。			18.8	6.3	0.0
					(C-2)因為左邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到左邊銅棒，電子會再經導線到右邊銅棒，以維持整個電路的電中性。			18.8	3.1	6.3
					(C-3)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到右邊的銅棒，並且電子經由水溶液到左邊銅棒，再經導線回到外加電壓。			0.0	0.0	3.1

5-7-II 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-8-II 承上題，造成電子移動的原因為何？	百分比%		
		前	後	延		前	後	延
(A)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	15.6	21.9	25.0	(A-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒而形成通路。 (A-2)因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到左邊銅棒，以維持電中性。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。 (A-4)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到左邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經右邊銅棒與導線回到外加電壓。	12.5	12.5	15.6
						0.0	3.1	0.0
						0.0	3.1	0.0
						3.1	3.1	9.4
(B)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	3.1	0.0	0.0	(B-1)因為左邊銅棒易失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅棒而形成通路。 (B-2)因為左邊銅棒易發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅棒，以維持電中性。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的右邊銅棒吸引過去。	3.1	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
(C)	 硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	28.1	3.10	6.3	(C-1)因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到右邊銅棒而形成通路。 (C-2)因為右邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到右邊銅棒，電子會再經導線到左邊銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-3)因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到左邊的銅棒，並且電子經由水溶液到達右邊銅棒，再經導線回到外加電壓。	15.6	3.1	3.1
						9.4	0.0	3.1
						3.1	0.0	0.0

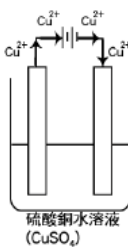
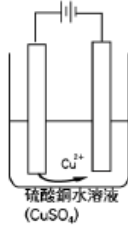
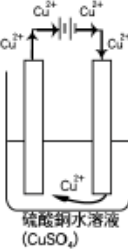
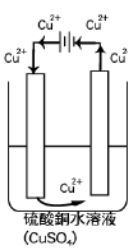
從表 4-1-7 中可以發現在教學前有 66.7%的實驗組學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 57.6%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.7)。

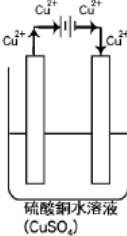
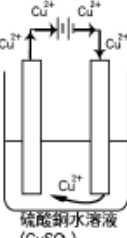
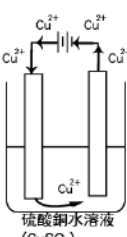
在教學後有 81.8%的學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 78.8%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在教學後的作答是偏向有信心(平均分數為 2.8)。

在延宕測驗中有 78.8%的學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 75.8%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在延宕測驗的作答是偏向沒信心(平均分數為 2.4)。

表 4-1-7 實驗組學生在第四部份的答題表現

5-9 試問，此裝置中電子移動的方向為何？(n=33)		百分比%		
		前	後	延
(A) Cu^{2+} 自由隨處亂動		12.1	3.0	0.0
(B) Cu^{2+} 不會移動		6.1	0.0	0.0
(C) 從左邊銅棒至右邊銅棒		66.7	81.8	78.8
(D) 從右邊銅棒至左邊銅棒		15.2	15.2	21.2

5-10-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？	百分比%			5-11-I 承上題，造成電子移動的原因為何？	百分比%		
	前	後	延		前	後	延
(A)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	0.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。	0.0	0.0	0.0
					0.0	0.0	0.0
					0.0	0.0	0.0
(B)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	57.6	78.8	75.8	(B-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3)右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。	18.2	3.0	9.1
					18.2	15.2	21.2
					21.2	60.6	45.5
(C)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	3.0	0.0	3.0	(C-1)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (C-2)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到左邊銅棒。	3.0	0.0	0.0
					0.0	0.0	3.0
(D)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	6.1	3.0	0.0	(D-1)左邊銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由溶液移向右邊銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-2)左邊銅棒釋出的 Cu^{2+} ，因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-3)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。	6.1	0.0	0.0
					0.0	3.0	0.0
					0.0	0.0	0.0

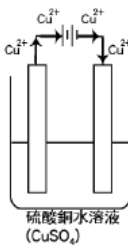
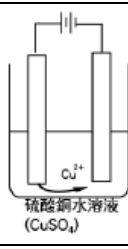
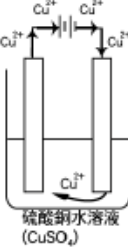
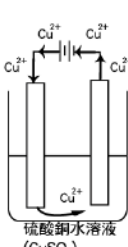
5-10-II 試問， 此裝置中電子 移動的情形為 何？		百分比%			5-11-II 承上題，造成電子移 動的原因為何？	百分比%		
		前	後	延		前	後	延
(A)	 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	3.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。	3.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
(B)	 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	9.1	12.1	18.2	(B-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3)右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。	3.0	3.0	3.0
						0.0	6.1	9.1
						6.1	3.0	6.1
(C)	 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	3.0	3.0	3.0	(C-1)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (C-2)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到左邊銅棒。	3.0	3.0	0.0
						0.0	0.0	3.0
(D)	 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	0.0	0.0	0.0	(D-1)左邊銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由溶液移向右邊銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-2)左邊銅棒釋出的 Cu^{2+} ，因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-3)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。	0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0

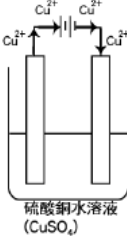
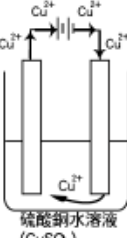
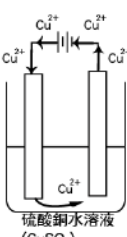
從表 4-1-8 中可以發現在教學前有 53.1%的對照組學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 43.8%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在教學前的作答是較沒有信心(平均分數為 1.8)。

在教學後有 87.5%的學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 84.4%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在教學後的作答是偏向有信心(平均分數為 2.6)。

在延宕測驗中有 65.6%的學生選擇 5-9(C) Cu^{2+} 從左邊銅棒至右邊銅棒，而這群學生在 5-10-I 中有 65.6%的學生選擇(B)選項，其理由大多是右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。從答題信心程度發現學生在延宕測驗的作答是偏向沒信心(平均分數為 2.2)。

表 4-1-8 對照組學生在第四部份的答題表現

5-9 試問，此裝置中 Cu^{2+} 的方向為何？(n=32)					百分比%					
					前	後	延			
(A) Cu^{2+} 自由隨處亂動					6.3	0.0	3.1			
(B) Cu^{2+} 不會移動					12.5	0.0	3.1			
(C) 從左邊銅棒至右邊銅棒					53.1	87.5	65.6			
(D) 從右邊銅棒至左邊銅棒					28.1	12.5	28.1			
5-10-I 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-11-I 承上題，造成電子移動的原因為何？			百分比%		
		前	後	延				前	後	延
(A)		0.0	0.0	0.0	(A-1) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3) 陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。	0.0	0.0	0.0		
						0.0	0.0	0.0		
						0.0	0.0	0.0		
(B)		43.8	84.4	65.6	(B-1) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3) 右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。	3.1	9.4	9.4		
						12.5	12.5	12.5		
						28.1	62.5	43.8		
(C)		3.1	0.0	0.0	(C-1) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (C-2) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到左邊銅棒。	3.1	0.0	0.0		
						0.0	0.0	0.0		
(D)		6.3	3.1	0.0	(D-1) 左邊銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由溶液移向右邊銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-2) 左邊銅棒釋出的 Cu^{2+} ，因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-3) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。	0.0	0.0	0.0		
						6.3	3.1	0.0		
						0.0	0.0	0.0		

5-10-II 試問，此裝置中電子移動的情形為何？		百分比%			5-11-II 承上題，造成電子移動的原因為何？	百分比%		
		前	後	延		前	後	延
(A)		0.0	0.0	0.0	(A-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。	0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
(B)		15.6	12.5	28.1	(B-1)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3)右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。	3.1	6.3	9.4
						0.0	0.0	12.5
						12.5	6.3	6.3
(C)		6.3	0.0	0.0	(C-1)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (C-2)因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到左邊銅棒。	6.3	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
(D)		6.3	0.0	0.0	(D-1)左邊銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由溶液移向右邊銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-2)左邊銅棒釋出的 Cu^{2+} ，因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-3)硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。	6.3	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0
						0.0	0.0	0.0

從上述四部分的學生答題表現來看，發現實驗組中多數學生在教學後能有正確的電池機制中電子、陽離子移動情形以及電解機制中電子、 Cu^{2+} 移動情形。此外，從分析中發現經過教學後，對於兩組學生不論在電池機制中的電子移動情形或者是在電解機制中電子移動情形，都有少部分學生仍然會認為電子能在鹽橋或者溶液中移動(Garnett & Treagust, 1992; Sanger & Greenbowe, 1997)，因此建議教師在電池概念以及電解概念，更要加強並澄清此概念。

二、兩組學生的前測比較

本研究是以化學反應測驗試題來分析兩組學生的起點行為，其中試題內容分為三個主概念：氧化還原、電池、電解。從表 4-1-9 及圖 4-1-1 顯示教學前兩組學生的答對率以及獨立 t 考驗的結果，發現在化學反應測驗試題中的整體表現而言，不論是實驗組或者是控制組的平均數都未達到 40%，且兩組未達顯著差異($p=.660$, $p>.05$)。再者，將概念區分成三部分來看，發現教學前兩組學生在氧化還原概念的表現，其平均數未達到 50%，也未達顯著差異($p=.517$, $p>.05$)，接著兩組學生在電池概念中的表現，其平均數更低，低於 30%，也未達顯著差異($p=.218$, $p>.05$)，最後兩組學生在電解概念中的表現雖然比電池概念來的好，但平均數並未達 40%，兩組未達顯著差異($p=.352$, $p>.05$)。

表 4-1-9 教學前實驗組與對照組在化學反應測驗試題的獨立 t 考驗

概念	答對率%(標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
氧化還原	39.5(18.0)	42.3(16.5)	-.652	.517
電池	27.1(18.3)	21.9(15.3)	1.243	.218
電解	38.8(19.3)	33.8(23.8)	.938	.352
整體	36.1(12.5)	34.8(11.0)	.442	.660

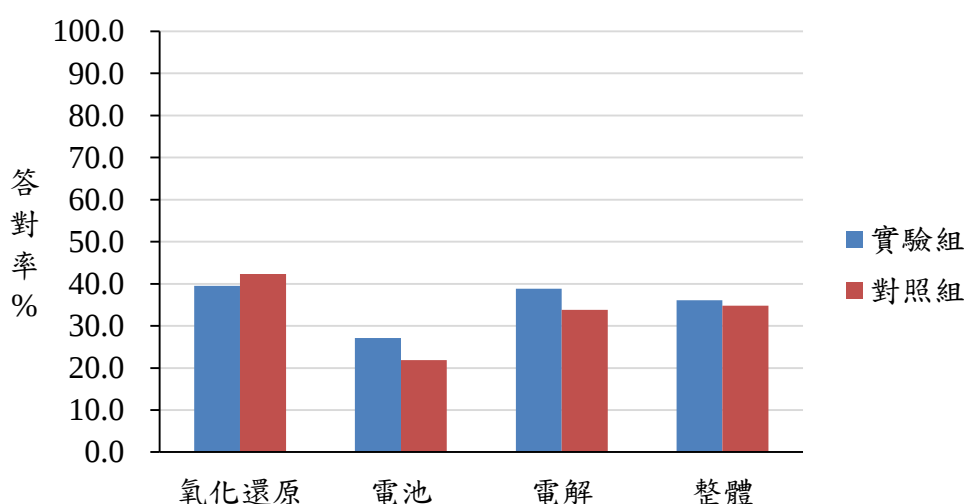


圖 4-1-1 教學前實驗組與對照組的學生在化學反應測驗試題的答對率

因此，從上表中發現除了實驗組與對照組兩組學生在教學前對於氧化還原概念、電池概念以及電解概念未達顯著差異外，還得知三概念中是以電池概念

的答對率最低，究竟學生在教學前的概念為何呢？

在教學前，84.8%的實驗組學生以及 78.1%的對照組學生認為氧化反應可以單獨發生，此結果與文獻相吻合，學生會認為氧化反應可以單獨發生(Garnett & Treagust, 1992)。此外，45.5%的實驗組學生以及 50%的對照組學生認為電池裝置中電子會在溶液中流動，此結果也與文獻相符合(Garnett & Treagust, 1992; Sanger & Greenbowe, 1997)。

三、實驗組學生在教學前、後以及延宕測驗的比較

實驗組學生經過七堂多重表徵的教學後，其表現以成對 t 考驗分析，結果顯示：在氧化還原概念、電池概念以及電解概念，學生在後測的答題表現都有達顯著進步，學生的答對率高達 60%(表 4-1-10 及圖 4-1-2)。因此，大多數的學生能透過明示次微觀的多重表徵教學達到對概念的理解。舉例來說，教學前具有不正確概念：認為氧化反應可以單獨發生的 84.8%學生，經過明示次微觀的多重表徵教學後，只剩下 36.4%學生仍然認為如此，其餘的學生已有正確的科學概念，亦即氧化還原反應是由於電子轉移之緣故，因此必須同時發生。而在電池概念中，教學前有 45.5%學生認為電池裝置中電子會在溶液中流動，但在經歷明示次微觀的多重表徵教學後發現只剩下 6.1%學生仍然認為電子會在溶液中流動。

此外，延宕測驗在教學後兩週進行，實驗組學生在概念記憶保留的測驗中呈現退步的現象，主要為電解概念，達到顯著退步。而在氧化還原概念反而達到顯著進步(表 4-1-10、圖 4-1-2 及表 4-1-11)。

在後測中有 36.4%學生認為氧化反應可以單獨發生，但在延宕測驗中只剩下 18.2%學生依舊如此認為，仍沒有發生概念改變。而後測中有 6.1%學生認為電池裝置中電子會在溶液中流動，在延宕測驗中依舊有 6.1%的學生認為如此。

表 4-1-10 實驗組前、後、延宕測驗的組內答對率

概念	答對率%(標準差)		
	前測	後測	延宕

氧化還原	39.5(18.0)	60.2(18.9)	64.1(17.6)
電池	27.1(18.3)	66.9(31.4)	69.1(26.1)
電解	38.8(19.3)	67.3(26.6)	56.8(28.3)
整體	36.1(12.5)	63.7(14.7)	63.5(15.0)

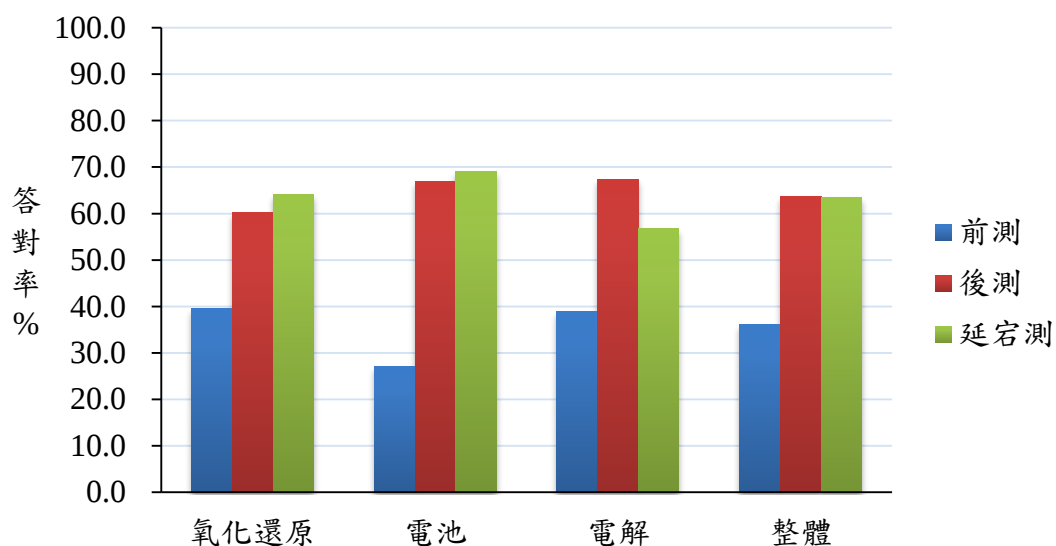


圖 4-1-2 實驗組前、後、延宕測驗的答對率

表 4-1-11 實驗組前、後、延宕測驗的成對 t 考驗

概念	後測-前測	延宕-後測	延宕-前測	
氧化還原	6.130***	2.058*	7.420***	延宕>後測>前測
電池	6.558***	.421	8.078***	延宕≡後測>前測
電解	5.444***	-2.706**	4.421***	後測>延宕>前測
整體	9.551***	-.127	11.124***	延宕≡後測>前測

*: $p < .05$ **: $p < .01$ ***: $p < .001$

綜合上述，研究結果顯示明示次微觀的多重表徵教學能協助學生在氧化還原概念，電池概念以及電解概念的理解，但還是有學生在經歷明示次微觀的多重表徵教學後仍然保留錯誤概念。此外，研究發現教學後兩週的學生保留概念是以氧化還原概念有顯著進步，而電池概念仍能維持，反而電解概念顯著退步。

四、對照組學生在教學前、後以及延宕測驗的比較

對照組學生經過七堂多重表徵的教學後，其表現以成對 t 考驗分析，結果顯示：在氧化還原概念、電池概念以及電解概念，學生在後測的答題表現都有達顯著進步，學生的答對率以氧化還原概念最高，高達 62%，以電池概念的答對率最低，只有 42%(表 4-1-12、圖 4-1-3 及表 4-1-13)。此外，教學前具有不正確概念：氧化反應可以單獨發生的 78.1% 學生，經過暗示次微觀的多重表徵教學後，還有 46.9% 學生仍然認為如此。其餘 53.1% 的學生已有正確的科學概念，亦即氧化還原反應是由於電子轉移之緣故，因此必須同時發生。而在電池概念中，教學前有 50% 學生認為電池裝置中電子會在溶液中流動，但在經歷暗示次微觀的多重表徵教學後發現剩下 12.5% 學生仍然認為電子會在溶液中流動。

此外，延宕測驗在教學後兩週進行，對照組學生在概念記憶保留的測驗中呈現退步的現象，主要為氧化還原概念以及電解概念，但與後測的表現相比都未達到顯著退步(表 4-1-12、圖 4-1-3 及表 4-1-13)。在後測中有 46.9% 學生認為氧化反應可以單獨發生，但在延宕測驗中只剩下 34.4% 學生仍沒有發生概念改變。而後測中有 12.5% 學生認為電池裝置中電子會在溶液中流動，在延宕測驗中仍有 12.5% 的學生認為如此。

表 4-1-12 對照組前、後、延宕測驗的組內答對率

概念	答對率%(標準差)		
	前測	後測	延宕
氧化還原	42.3(16.5)	62.1(18.6)	61.7(15.2)
電池	21.9(15.3)	42.1(36.7)	47.3(34.5)
電解	33.8(23.8)	61.5(28.7)	49.2(29.4)
整體	34.8(11.0)	56.7(18.3)	54.7(15.2)

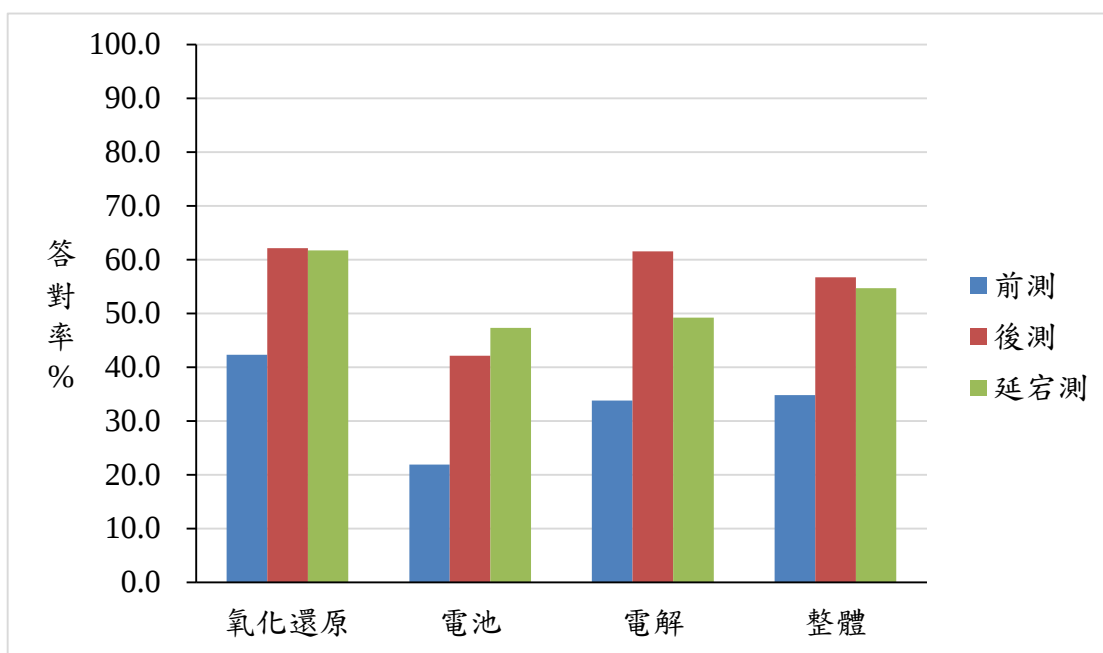


圖 4-1-3 對照組前、後、延宕測驗的答對率

表 4-1-13 對照組前、後、延宕測驗的成對 t 考驗

概念	後測-前測	延宕-後測	延宕-前測	
氧化還原	7.699***	-.132	6.464***	延宕≡後測>前測
電池	3.061**	.655	3.996***	延宕≡後測>前測
電解	4.773***	-1.813	2.904**	延宕≡後測>前測
整體	8.374***	-.602	8.079***	延宕≡後測>前測

* : $p < .05$ ** : $p < .01$ *** : $p < .001$

綜合上述，研究結果顯示暗示次微觀的多重表徵教學的確能協助學生在氧化還原概念，電池概念以及電解概念的理解，但還是有學生在經歷多重表徵教學後仍然沒有發生概念改變。此外，研究發現教學後兩週的學生保留概念中氧化還原概念與電解概念表現略微退步，而電池概念略微進步，但是與後測的表現並未達顯著差異。

五、實驗組與對照組學生後測、延宕測驗與前測的比較

兩組學生在後測與延宕測驗中的分析比較是以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析(表 4-1-14)，結果顯示實驗組學生在後測的電池概念表現顯著優於對照組，故在電池概念上，以明示次微觀的多重表徵教學顯著優於暗示次微觀的多重表徵教學，此外，發現實驗組學生在延宕測驗中的整體表現顯著優於對照組，因此，明示次微觀的多重表徵教學能讓學生在概念記憶保留測驗中繼續保持。

表 4-1-14 實驗組與對照組後測與延宕測驗的 ANCOVA 比較

概念	後測(F 值)	延宕測驗(F 值)
氧化還原	0.003	0.886
電池	7.501**	7.256**
電解	0.436	0.486
整體	2.760	5.723*

*：p<.05 **：p<.01 ***：p<.001

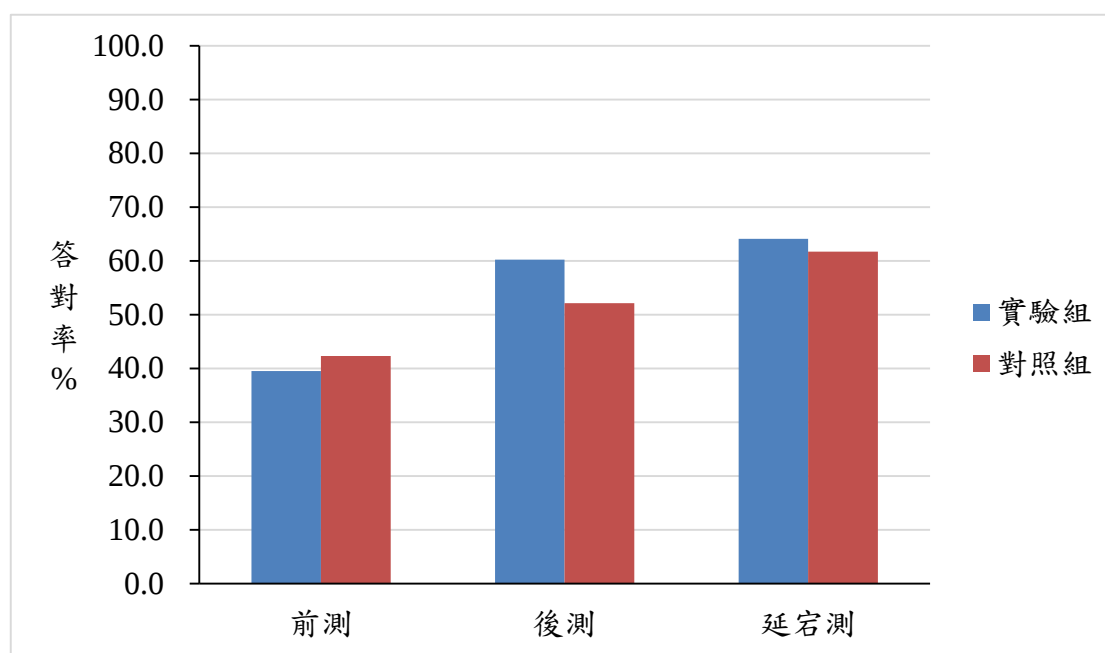


圖 4-1-4 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的氧化還原概念答對率比較

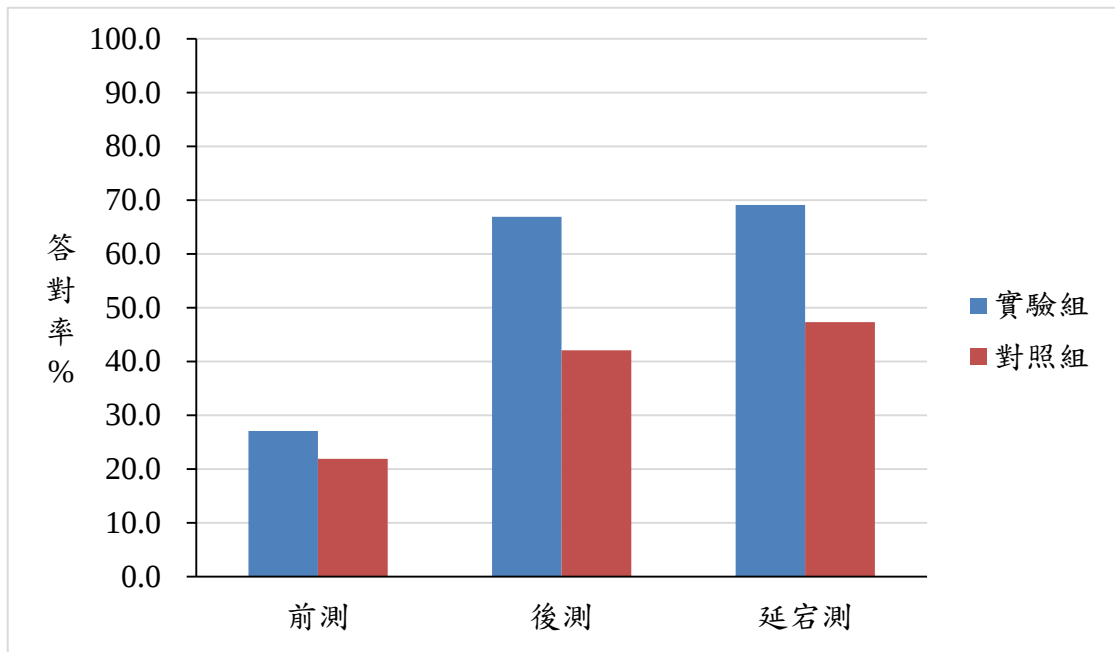


圖 4-1-5 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的電池概念答對率比較

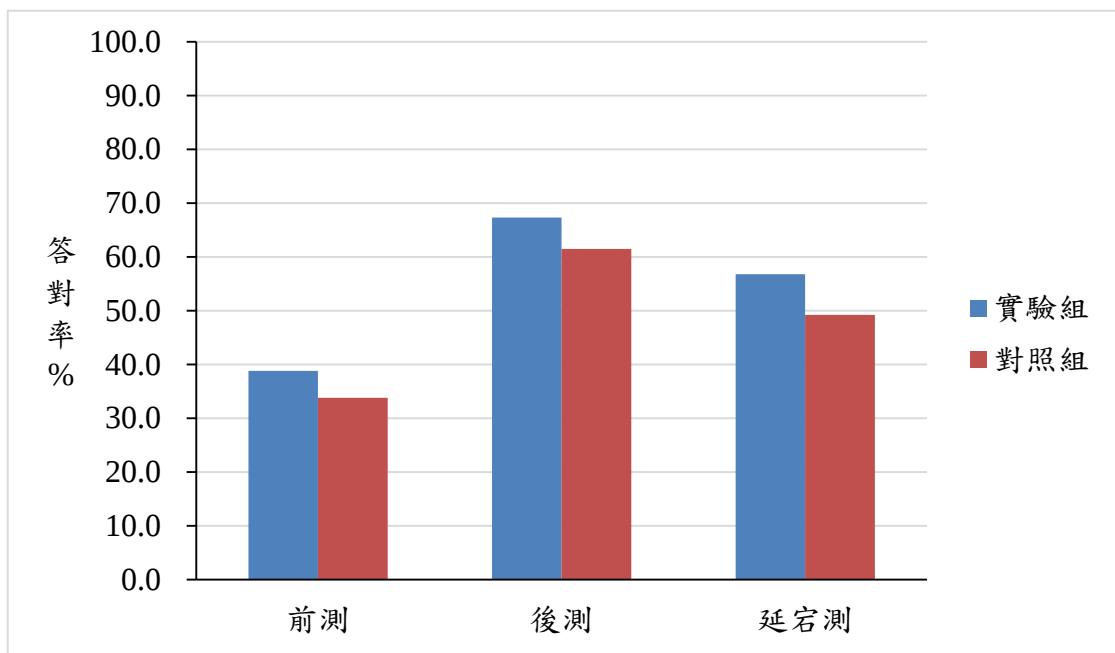


圖 4-1-6 兩組學生在教學前、後、延宕測驗的電解概念答對率比較

整體來說，後測以及延宕測驗中兩組學生在氧化還原概念、電池概念以及電解概念的答對率表現都是實驗組高於對照組(圖 4-1-4、圖 4-1-5 及圖 4-1-6)。

六、小結

不論是明示次微觀的多重表徵教學或者是暗示次微觀的多重表徵教學，都能協助學生在氧化還原、電池與電解概念的學習，但是在電池概念上是以明示次微觀的多重表徵教學較優。經過本研究後，發現教師必須將教學內容、教材與多重表徵教學做精心的設計後再呈現在課堂中，是有助於大部分學生正確在表徵間做連結與轉換，以理解複雜的科學概念，本研究結果與 Johnstone(1991)相互呼應。

此外，在延宕測驗中實驗組還有 18.2% 的學生認為氧化反應可以單獨發生，而對照組還有 34.4% 的學生認為氧化反應可以單獨發生。再者，實驗組有 6.1% 的學生認為電池機制中電子會在溶液中流動，而對照組則有 12.5% 的學生認為電池機制中電子會在溶液中流動。因此這兩種教學方法仍無法完全破除學生的錯誤概念，因此，建議下次在設計教學內容或者教學方法上能更強調這部分，以完全破除學生的錯誤概念。

第二節 學生在課堂中的概念改變

不論是實驗組或是對照組學生都在後測與延宕測驗中的表現比前測好，那究竟兩組學生的概念改變發生在何時？本節希望藉由每一課堂前後的評量來探討概念改變的發生與教學內容之關係。

本次研究中教學活動共為七節課，前四節課為氧化還原概念，接著一節半的電池概念以及一節半的電解概念。而其中後兩節課的氧化還原概念分別為氧化還原反應的平衡以及氧化還原反應滴定，此兩概念較難有明示次微觀以及暗示次微觀的差異，又加上這兩概念是以計算為重，因此研究設計中這兩節未有以即時回饋系統作評量工具的課堂評量。以下分別就五堂課的教學內容進行討論。

一、氧化還原第一堂課

此堂課的教學主要是讓學生清楚瞭解氧化還原的定義，並能正確判斷氧化還原反應，故本堂課的評量主要在判斷氧化還原反應，共有四題(附錄四)。

從表 4-2-1 及圖 4-2-1 中發現教學前兩組學生的表現是沒有顯著差異($p=.057$ ， $p>.05$)，但分別經過這堂課的教學設計後，發現兩組學生的答對率都有提升，且兩組學生在教學後有達到顯著差異($p=.011$ ， $p<.05$)。

表 4-2-1 實驗組與對照組在氧化還原第一堂課的獨立 t 考驗

時間	答對率% (標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
教學前	40.2(28.6)	27.4(23.6)	1.936	.057
教學後	59.9(27.2)	40.3(32.1)	2.633	.011*

* : $p<.05$ ** : $p<.01$ *** : $p<.001$

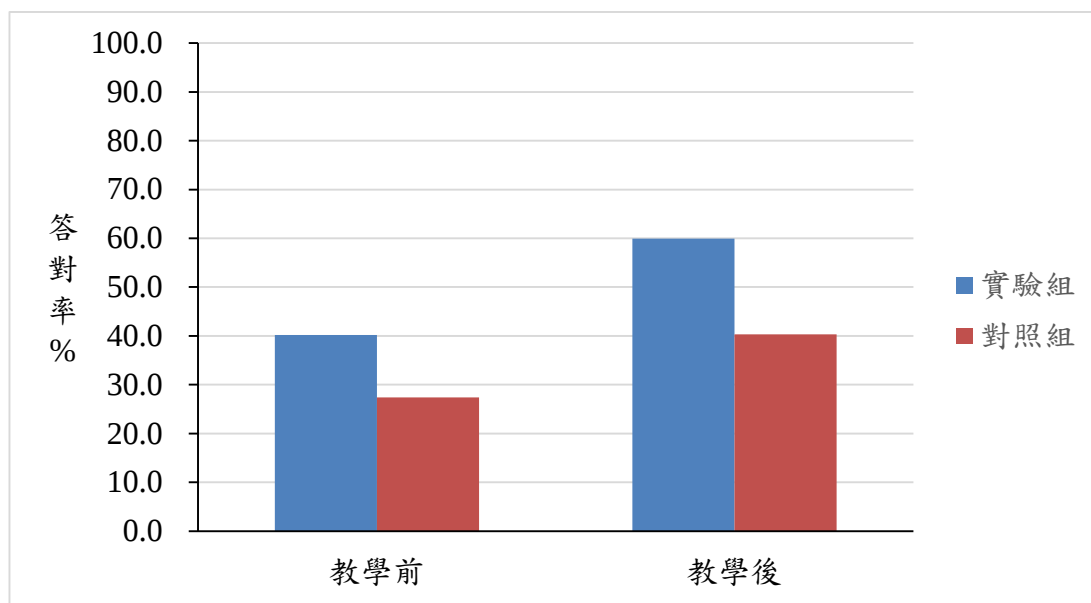


圖 4-2-1 實驗組與對照組在氧化還原第一堂課的答對率比較

根據成對 t 考驗發現實驗組學生在教學前與教學後有顯著進步($t=4.180$, $p<.001$), 而對照組學生在教學前與教學後的表現也達顯著差異($t=2.380$, $p<.05$)。接著, 兩組學生在教學後的分析比較是以前測為共變數, 進行 ANCOVA 分析, 結果顯示兩組學生排除教學前對教學後的影響後, 未達顯著差異($p=.067$, $p>.05$)。

綜合上述發現兩組學生在氧化還原第一堂課分別以明示次微觀和暗示次微觀的教學後, 兩組學生表現都有達顯著進步, 但又以明示次微觀的實驗組學生進步最多。因此, 在氧化還原反應是物質間發生電子轉移的概念上, 教師教學必須以明示次微觀的方法, 以協助學生理解概念。

二、氧化還原第二堂課

此堂課的教學主要是讓學生清楚瞭解氧化反應以及還原反應, 包括還原劑以及氧化劑; 氧化力與還原力, 由於本堂課中常出現的關鍵詞為「氧化」、「還原」, 兩名詞的重複性較高, 可能會影響學生的學習, 舉例來說, 氧化反應是使另一物質還原, 為還原劑, 這句話中出現了一次「氧化」、兩次「還原」, 故本堂課的評量有六題。

從表 4-2-2 及圖 4-2-2 中發現教學前兩組學生的表現是沒有顯著差異($p=.928$ ， $p>.05$)，但分別經過這堂課的教學設計後，發現兩組學生的答對率都有提升，以對照組進步最多，但兩組學生在教學後表現沒有達到顯著差異($p=.376$ ， $p>.05$)。

表 4-2-2 實驗組與對照組在氧化還原第二堂課的獨立 t 考驗

時間	答對率%(標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
教學前	45.3(20.4)	44.8(25.2)	0.091	.928
教學後	55.2(20.1)	59.9(21.9)	-.892	.376

*： $p<.05$ **： $p<.01$ ***： $p<.001$

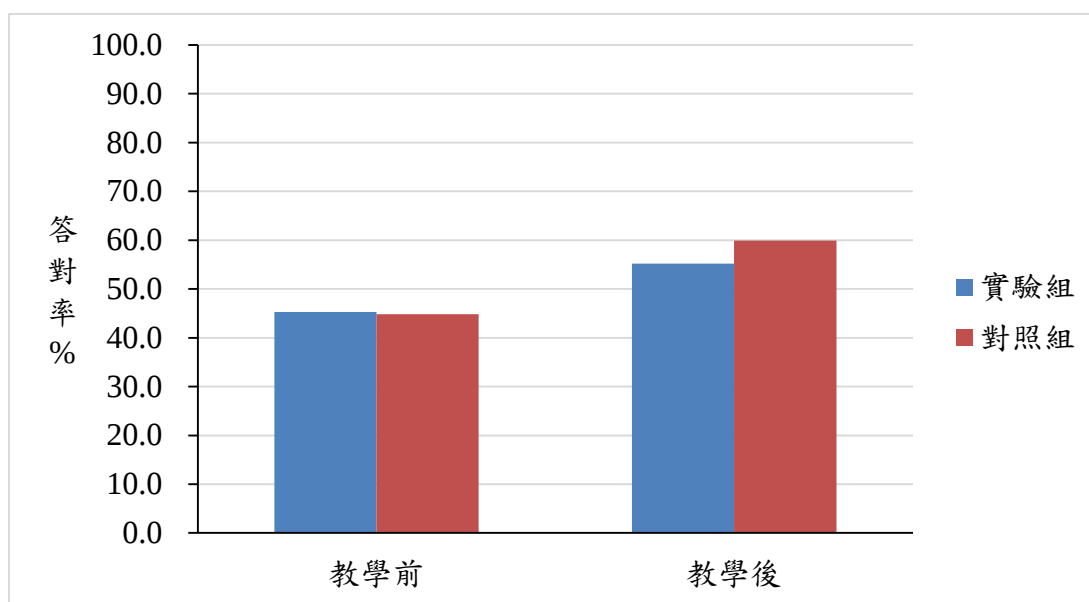


圖 4-2-2 實驗組與對照組在氧化還原第二堂課的答對率比較

根據成對 t 考驗發現實驗組學生在教學前與教學後有顯著進步($t=2.462$ ， $p<.05$)，而對照組學生在教學前與教學後的表現也達顯著差異($t=3.931$ ， $p<.001$)。接著，兩組學生在教學後的分析比較是以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析結果顯示兩組學生排除教學前對教學後的影響後，未達顯著差異($F=1.136$ ， $p>.05$)。

綜合上述發現實驗組與對照組兩組學生在教學前各有 45% 的答對率，而經過教學後兩組學生都有達顯著進步。

三、電池第一堂課

此堂課的教學主要是讓學生清楚瞭解電池的物理定義與化學定義、電池的原理、電池裝置以及機制，故本堂課的評量主要在電池的機制，共有兩題(附錄四)。

表 4-2-3 及圖 4-2-3 中發現教學前兩組學生的答對率沒有超過 40%，且兩組學生沒有顯著差異($p=.471$ ， $p>.05$)，但分別經過這堂課的教學設計後，發現兩組學生的答對率都有提升，以實驗組進步最多，但兩組學生在教學後表現沒有達到顯著差異($p=.360$ ， $p>.05$)。

表 4-2-3 實驗組與對照組在電池第一堂課的獨立 t 考驗

時間	答對率%(標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
教學前	33.3(34.6)	39.7(33.8)	-.726	.471
教學後	63.6(36.0)	55.2(36.2)	.922	.360

*： $p<.05$ **： $p<.01$ ***： $p<.001$

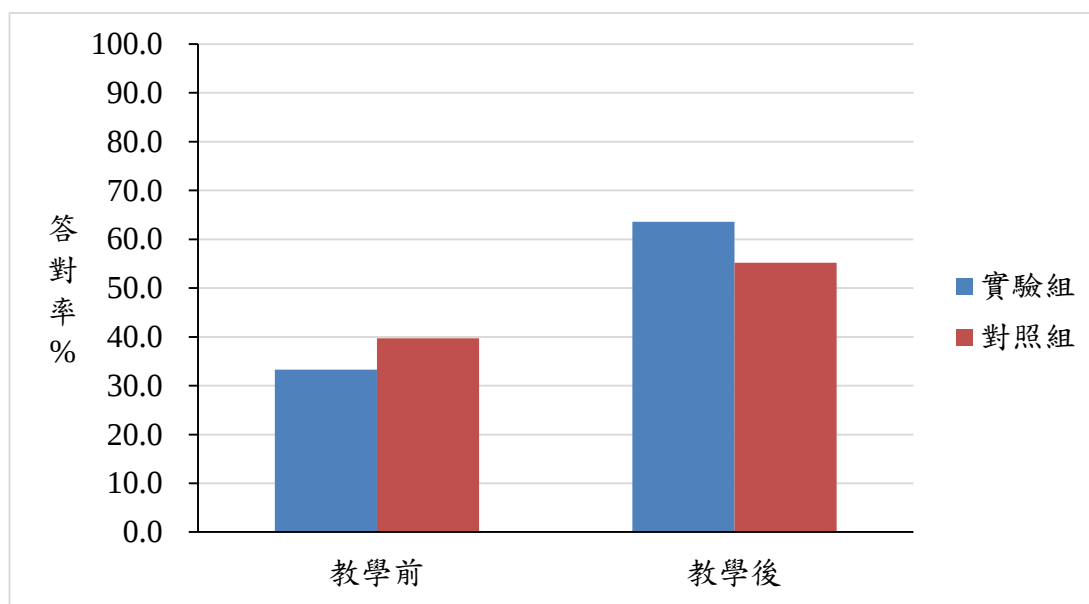


圖 4-2-3 實驗組與對照組在電池第一堂課的答對率比較

依據成對 t 考驗的結果發現實驗組學生在教學前與教學後有顯著進步($t=4.417$ ， $p<.001$)，而對照組學生在教學前與教學後的表現也達顯著差異($t=2.346$ ， $p<.05$)。接著，兩組學生在教學後的分析比較是以前測為共變數，進

行 ANCOVA 分析，結果顯示兩組學生排除教學前對教學後的影響後，未達顯著差異($F=1.805, p>.05$)。

綜合上述發現在電池第一堂課中兩組分別以明示次微觀及暗示次微觀進行教學，兩組學生表現都有達顯著進步，但又以明示次微觀的實驗組學生表現較優。因此，電池機制的教學仍要以明示次微觀的多重表徵教學為主，以協助學生理解概念。

四、電池第二堂課、電解第一堂課

學生在本堂課需要瞭解的主要概念為鋅銅電池及其原理、電池還原電位與氧化電位、電解的原理以及定義，兩組此節課主要差異是在鋅銅電池及其原理的部分，因此本堂課的評量主要在電池機制以及電解基本概念，共有兩題。

從表 4-2-4 及圖 4-2-4 中發現教學前兩組學生的表現未達顯著差異($p=.065, p>.05$)，但分別經過這堂課的教學設計後，發現兩組學生的答對率有退步的情形，但兩組學生在教學後表現未達顯著差異($p=.407, p>.05$)。推測退步的原因為此次評量的一題目為銅銀電池，學生必須要從課堂中的鋅銅電池類推至銅銀電池，較為不易，此外，另一試題為電解的原理，由於電解概念本身較為困難，又加上剛建立電池概念，可能觀念尚未清楚而受到混淆，因此學生在本節課的評量答題狀況不理想。

表 4-2-4 實驗組與對照組在電池第二堂課、電解第一堂課的獨立 t 考驗

時間	答對率%(標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
教學前	36.4(33.7)	21.9(28.2)	1.876	.065
教學後	24.2(28.3)	18.8(24.6)	.834	.407

*: $p<.05$ **: $p<.01$ ***: $p<.001$

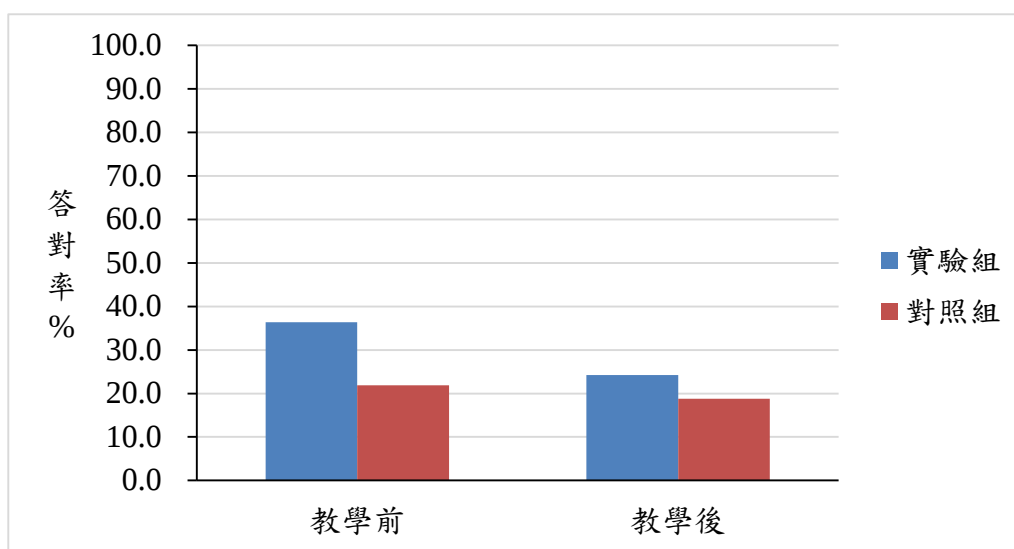


圖 4-2-4 實驗組與對照組在電池第二堂課、電解第一堂課的答對率比較

從成對 t 考驗的結果發現實驗組學生在教學前與教學後發生退步情形，但未達顯著差異($t=-1.677, p>.05$)，而對照組學生，在教學前後也發生退步情形，同樣未達顯著差異($t=-.626, p>.05$)。接著，兩組學生在教學後的分析比較是以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析，結果顯示兩組學生排除教學前對教學後的影響後，未達顯著差異($F=.284, p>.05$)。

綜合上述發現兩組學生在電池第二堂課及電解第一堂課分別以明示次微觀和暗示次微觀的多重表徵進行教學，兩組學生表現有退步的情形發生，推論原因為課室中以鋅銅電池為例，設計巨觀的實驗影片、次微觀動畫(實驗組僅有)、符號與語言，但此節課的評量試題為銅銀電池，這是需要學生理解電池概念後，再從鋅銅電池正確類推至銅銀電池，又加上另一電解試題，需要學生在剛建立的電池概念之上進行電解的理解，較為困難，因此學生發生了退步情形。

五、電解第二堂課

學生在本次教學中需要瞭解的主要概念為電解原理、電解裝置及機制、電解水、電解硫酸銅溶液，而實驗組與對照組在此堂課主要的差異是在電解水以及電解硫酸銅溶液上。

表 4-2-5 及圖 4-2-5 中發現教學前兩組學生的表現是沒有顯著差異($p=.412$ ， $p>.05$)，但分別經過這堂課的教學設計後，發現兩組學生的答對率都有進步，但兩組學生在教學後表現沒有達到顯著差異($p=.176$ ， $p>.05$)。

表 4-2-5 實驗組與對照組在電解第二堂課的獨立 t 考驗

時間	答對率%(標準差)		t	顯著性(雙尾)
	實驗組(N=33)	對照組(N=32)		
教學前	55.3(23.2)	50.0(28.4)	.826	.412
教學後	64.4(25.0)	55.5(27.5)	1.370	.176

* : $p<.05$ ** : $p<.01$ *** : $p<.001$

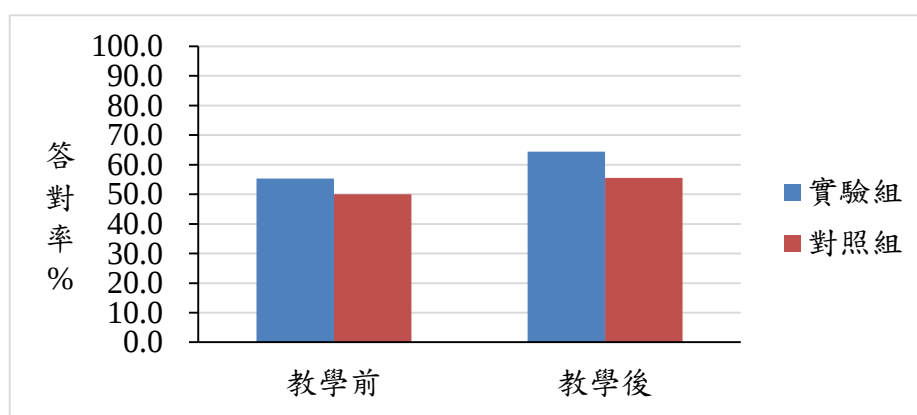


圖 4-2-5 實驗組與對照組在在電解第二堂課的答對率比較

從成對 t 考驗中發現實驗組學生在教學前與教學後都有進步，但未達顯著差異($t=1.712$, $p>.05$)，而對照組學生也有進步，但未達顯著差異($t=1.126$, $p>.05$)。接著，兩組學生在教學後的分析比較是以前測為共變數，進行 ANCOVA 分析的結果顯示兩組學生排除教學前對教學後的影響後，未達顯著差異($F=2.205$ ， $p>.05$)。

綜合上述發現兩組學生在電解第二堂課分別以明示次微觀和暗示次微觀的多重表徵教學後，兩組學生表現都有進步，但又以明示次微觀的實驗組學生表現較好，教學後的答對率高達 64.4%。因此，電解機制的教學仍要以明示次微觀的多重表徵教學，以協助學生理解概念。

六、學生的表現與教學內容的關係

實驗組與對照學生在教學後或者延宕測驗中的表現都比教學前的表現更進步，究竟學生的表現與教學內容的關係為何？以下從學生教學前具備的錯誤概念來看，這些錯誤概念的改變與教學內容之間的關係。

教學前大部分學生所具備的錯誤概念，有四大概念，分別為：1. 氧化反應可以單獨發生。2. 不清楚氧化反應是失去電子，作為還原劑；還原反應是得到電子，作為氧化劑。3. 在電子機制的部分則會認為電子會經過鹽橋到另一極。4. 認為陽離子可以經過導線到一極後，再經過水溶液到另一極，形成迴路。

在圖 4-2-6 及圖 4-2-7 中所呈現的是實驗組以及對照組學生在教學前所擁有錯誤概念的人數比例，經過七堂課的教學後所占有比例，最後，經過一段時間的延宕測驗中所擁有錯誤概念的人數比例，舉例來說，實驗組學生在教學前有 51.5% 的人不清楚得失電子與氧化劑或還原劑的關係，經過七堂課的教學後發現只剩下 15.1% 的學生仍沒有發生概念改變，但再經過一段時間後的延宕測驗，仍有 9.1% 的學生不清楚得失電子與氧化劑或還原劑的關係，但上述人數隨著時間的進行而逐漸減少，是由於在氧化還原第二堂課程進行氧化反應與還原反應的概念教學，在本節課結束後，發現只剩 18.2% 的學生仍然不清楚，直到教學後測就剩下 15.1% 的學生沒有概念改變（圖 4-2-6）。

教學影響

氧化還原第二堂課的課堂教學前
51.5%學生不清楚氧化反應、還原反應
與得失電子、氧化劑或還原劑的關係
氧化還原第二堂課的課堂教學後
18.2%學生不清楚氧化反應、還原反應
與得失電子、氧化劑或還原劑的關係

電池第一堂課的課堂教學前
42.4%學生瞭解電池機制
電池第一堂課的課堂教學後
82.0%學生瞭解電池機制

學生表現

教學前

84.8%學生：氧化反應可以單獨發生
51.5%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)24.2%學生：得到電子作為還原劑
(b)27.3%學生：失去電子作為氧化劑
15.2%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
45.5%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
15.2%學生：陽離子能在導線中移動

經過七堂課的教學後

36.4%學生：氧化反應可以單獨發生
15.1%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)12.1%學生：得到電子作為還原劑
(b)3.0%學生：失去電子作為氧化劑
3.0%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
6.1%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
6.1%學生：陽離子能在導線中移動

延宕

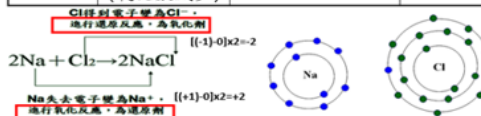
18.2%學生：氧化反應可以單獨發生
9.1%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)3.0%學生：得到電子作為還原劑
(b)6.1%學生：失去電子作為氧化劑
3.0%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
6.1%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
6.1%學生：陽離子能在導線中移動

教學內容

氧化還原反應

- 定義：物質間發生電子轉移的行為
- 範例： $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$

反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱
氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑
還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑



電池

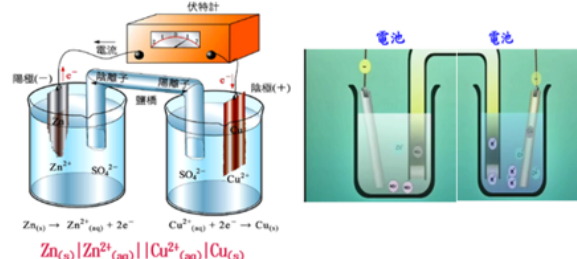


圖 4-2-6 實驗組學生表現與教學內容的關係

教學影響

氧化還原第二堂課的課堂教學前
46.8%學生不清楚氧化反應、還原反應
與得失電子、氧化劑或還原劑的關係
氧化還原第二堂課的課堂教學後
21.9%學生不清楚氧化反應、還原反應
與得失電子、氧化劑或還原劑的關係

電池第一堂課的課堂教學前
34.4%學生瞭解電池機制
電池第一堂課的課堂教學後
71.9%學生瞭解電池機制

學生表現

教學前

78.1%學生：氧化反應可以單獨發生
68.8%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)25.0%學生：得到電子作為還原劑
(b)43.8%學生：失去電子作為氧化劑
15.6%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
50%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
6.3%學生：陽離子能在導線中移動

經過七堂課的教學後

46.9%學生：氧化反應可以單獨發生
25.0%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)9.4%學生：得到電子作為還原劑
(b)15.6%學生：失去電子作為氧化劑
3.1%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
12.5%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
0%學生：陽離子能在導線中移動

延宕

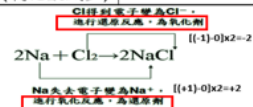
34.4%學生：氧化反應可以單獨發生
37.5%學生：不清楚得失電子與氧化劑
或還原劑的關係
(a)21.9%學生：得到電子作為還原劑
(b)15.6%學生：失去電子作為氧化劑
12.5%學生：不清楚氧化反應、還原反應
與氧化劑或還原劑的關係
12.5%學生：電池裝置中電子會經過鹽橋
到另一邊
6.3%學生：陽離子能在導線中移動

教學內容

氧化還原反應

- 定義：物質間發生電子轉移的行為
- 範例： $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$

反應	電子得失情形	在反應中的功用	名稱
氧化反應	失去電子 (氧化數增加)	使另一種物質還原	還原劑
還原反應	得到電子 (氧化數減少)	使另一種物質氧化	氧化劑



電池

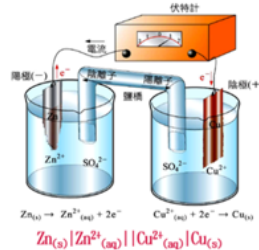


圖 4-2-7 對照組學生表現與教學內容的關係

從上圖中發現實驗組學生經過明示次微觀的多重表徵教學後，大多數學生能具有正確的概念，但仍有極少數學生沒有概念改變，而對照組學生經過暗示次微觀的多重表徵教學後，大多數學生仍可以具有正確的概念，但沒有概念改變的學生相較於實驗組的而言，比例較多。因此，發現明示次微觀的多重表徵教學較能協助學生在氧化還原概念、電池機制的概念上的理解。

七、小結

學生在這五堂課程中都能學習到該堂課概念，而在氧化還原反應：電子轉移的概念、電池機制的概念以及電解機制的概念都是以明示次微觀的多重表徵教學最好。經過本研究後，發現不論是明示次微觀的多重表徵教學或者暗示次微觀的多重表徵教學都能幫助學生在表徵間做連結與轉換，以理解科學概念，本研究結果可呼應 Nakhleh 和 Postek(2008)所指出表徵能幫助學生自己理解化學。

此外，從學生在教學前的錯誤概念隨著教學時間的演進，發現大部分學生能正確的概念改變，尤其以明示次微觀的多重表徵教學較容易協助學生理解，但不論是實驗組或者對照組的教學方法仍有少數學生沒有概念改變。

最後，本研究中新發現學生在電池概念中有另一種迷思概念，亦即學生會認為陽離子能在導線中移動，因此電池的機制為陽離子可以經過導線到一極後，再經過水溶液到另一極，形成迴路。因此，當學生在學習電池機制的時候，教師必須要透過教學方法來打破學生這項迷思概念。

第三節 概念圖分析

本節的分析主要是針對學生在氧化還原概念、電池概念以及電解概念的觀念圖來探討學生概念類型，進一步探討實驗組與對照組兩組學生的概念演變有何不同。

一、十二種概念類型

A 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電池，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-1)。從下圖發現學生認為氧化還原概念和電池概念之間沒有關聯性，此外，再從這概念圖中發現這位學生對於氧化還原概念以及電池概念不甚清楚，其錯誤概念為電池有電解質，所以會離子移動，進一步電子在外電路移動。

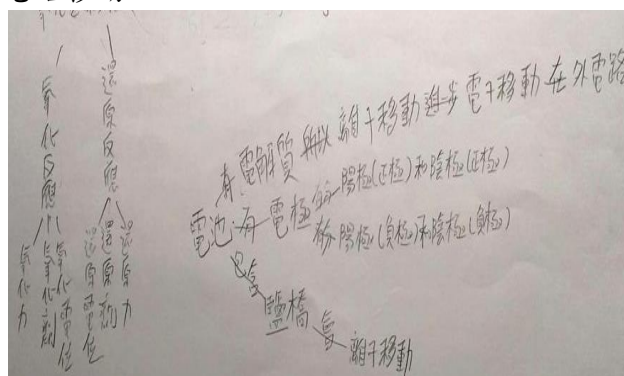


圖 4-3-1 A 概念類型的範例

B 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-2)。從下圖發現學生認為氧化還原概念和電解概念之間沒有關連性，此外，再從這概念圖中發現這位學生不清楚氧化還原概念以及電解的機制。

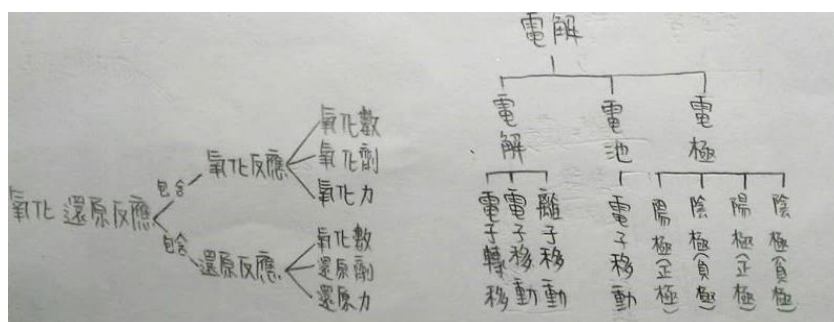


圖 4-3-2 B 概念類型的範例

C 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解質，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-3)。從下圖學生認為氧化還原概念與電解質概念(電池、電解)之間沒有關聯性，此外，從這概念圖中可以發現學生認為電解質是上階概念，其認為電解質需要電池以及電解。

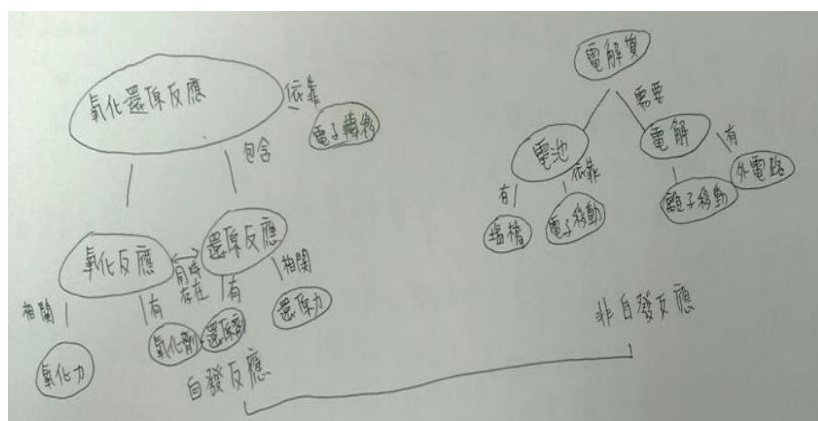


圖 4-3-3 C 概念類型的範例

D 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電子轉移，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-4)。從下圖概念圖發現這位學生將電子轉移和電解質作連結線，其認為這兩者是有關連性，而此連結是不正確的。

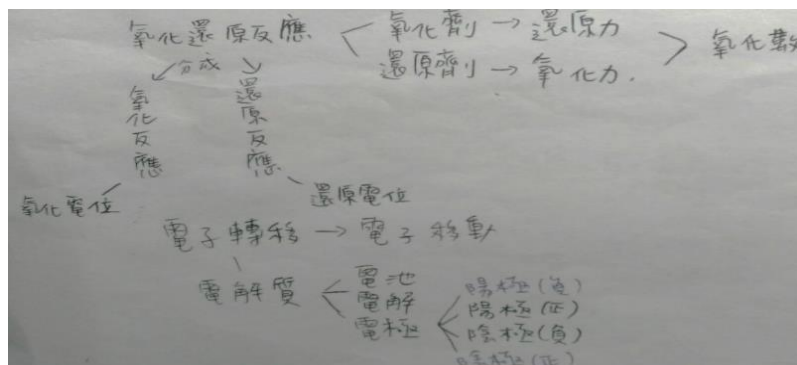


圖 4-3-4 D 概念類型的範例

E 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化反應以及還原反應，這兩個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-5)。從下圖概念圖中發現這位學生認為氧化反應和還原反應是可以獨立存在，其認為氧化反應中非自發反應為電池和電解，而還原反應中非自發反應也為電池和電解。

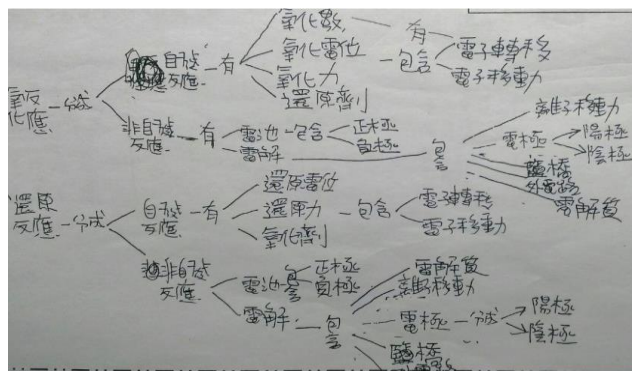


圖 4-3-5 E 概念類型的範例

F 概念類型為上階概念有三個，分別為氧化還原反應、電池以及電解，這三個上階概念是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-6)。從下圖概念圖中發現這位學生認為氧化還原概念、電池概念以及電解概念之間相互獨立，沒有關連性，此外這位學生對於氧化還原概念、電池概念以及電解概念都不完整。

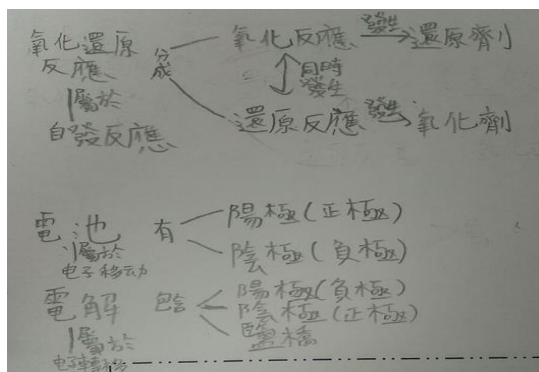


圖 4-3-6 F 概念類型的範例

G 概念類型為上階概念是四個以上，這些上階概念都是獨立存在，沒有交集(圖 4-3-7)。從下圖概念圖中發現這位學生對於專有名詞之間的連結性是片段且概念間的關係較為零散。

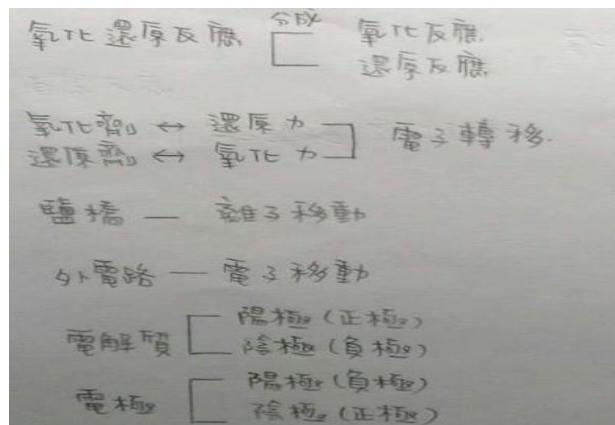


圖 4-3-7 G 概念類型的範例

H 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電池，這兩個上階概念間有一重要概念作交集，此概念為電子移動(圖 4-3-8)。從下圖概念圖中發現這位學生認為氧化還原概念以及電池概念間有關連性，而扮演這重要關聯性的角色是電子移動，其認為電子移動是因為氧化還原反應，電池是因為電子移動的關係。

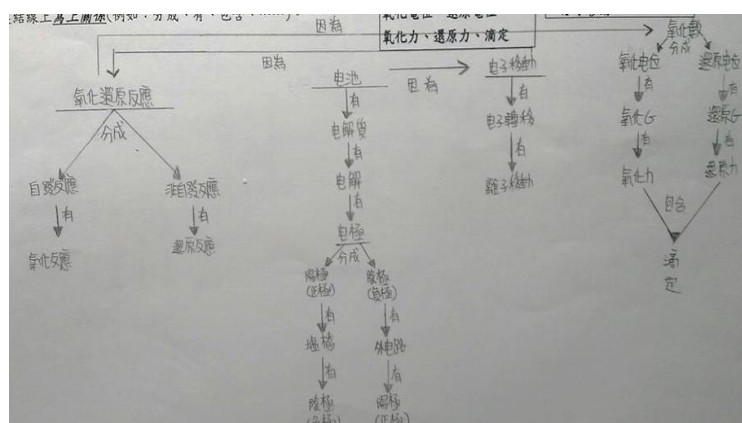


圖 4-3-8 H 概念類型的範例

I 概念類型為上階概念有兩個，分別為氧化還原反應以及電解，這兩個上階概念間有一重要概念作交集，此概念為電子轉移(圖 4-3-9)。從下圖概念圖中發現這位學生認為氧化還原概念和電解概念之間是有關連性，而扮演關聯性的重要概念是電子轉移。

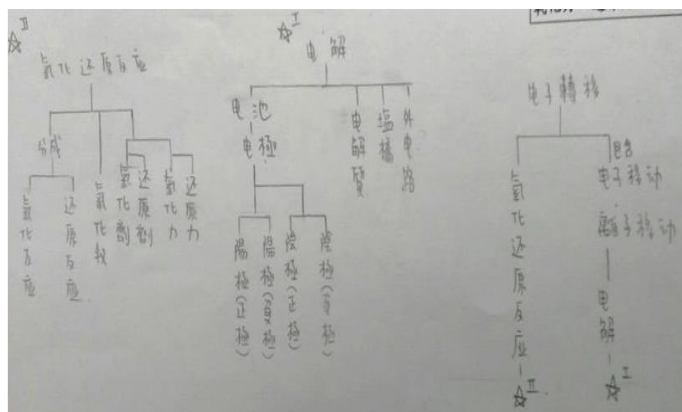


圖 4-3-9 I 概念類型的範例

J 概念類型為上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結，但認為電子能在鹽橋中移動(圖 4-3-10)。從下圖概念圖中發現這位學生將氧化還原概念以及電池概念之間作緊密的連結，但是這位學生卻認為鹽橋中有電子移動，視為錯誤概念。

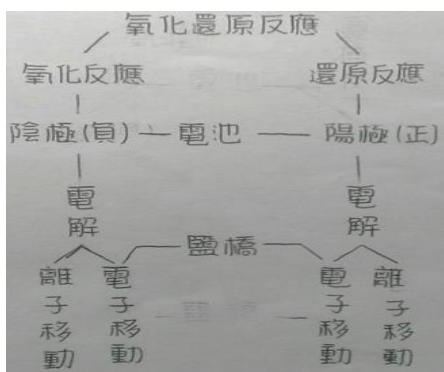


圖 4-3-10 J 概念類型的範例

K 概念類型為上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結，但認為電解質中離子間會電子交換，其交換方式為氧化還原(圖 4-3-11)。從下圖概念圖中發現這位學生認為這些概念之間是緊密的連結關係，其認為電解質的導電方式是離子移動，而離子中電子交換的方式是氧化還原反應，因此學生認為電解質中離子間會電子交換，而交換方式為氧化還原反應。

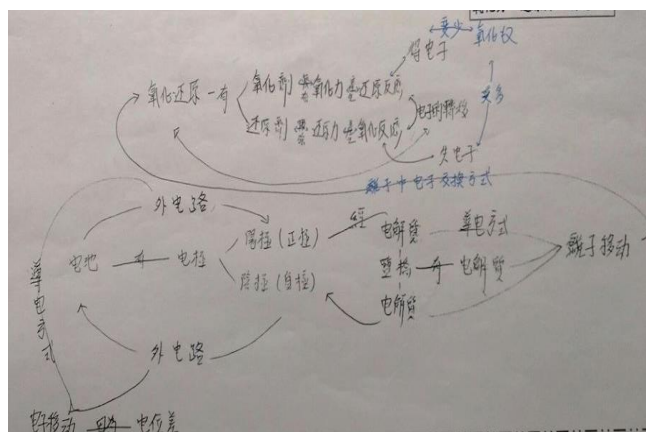


圖 4-3-11 K 概念類型的範例

L 概念類型為上階概念為氧化還原反應，其餘概念間是緊密連結(圖 4-3-12)。從下圖概念圖中發現這位學生清楚知道電池運轉的原理是氧化還原反應，概念彼此間相互緊密連結。

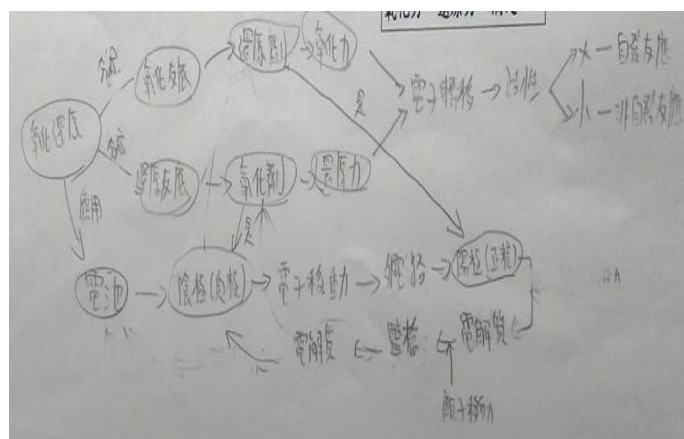


圖 4-3-12 L 概念類型的範例

二、實驗組學生的概念類型

從實驗組學生在 12 種概念類型的分佈(表 4-3-1 及圖 4-3-13)，發現不論在教學前、教學中、教學後都有超過 50%的實驗組學生對於氧化還原概念、電池概念以及電解概念呈現各自獨立，是片段的概念。然而，隨著教學的進行，也發現有些學生在三概念的連結關係會越來越緊密，為交互作用的類型，其人數比例在教學前、教學中、教學後以及延宕分別為 27.2%、27.2%、39.4%以及 45.4%。

表 4-3-1 實驗組學生的概念類型分佈

種類	獨立								相交			交互作用			
類型	A	B	C	D	E	F	G	總和	H	I	總和	J	K	L	總和
教學前(%)	9.1	18.2	9.1	3.0	6.1	6.1	12.1	63.7	3.0	6.1	9.1	3.0	0.0	24.2	27.2
教學中(%)	6.1	21.2	9.1	3.0	3.0	6.1	12.1	60.6	6.1	6.1	12.2	3.0	3.0	21.2	27.2
教學後(%)	6.1	15.2	3.0	3.0	0.0	12.1	12.1	51.5	3.0	6.1	9.1	3.0	0.0	36.4	39.4
延宕(%)	18.2	6.1	0.0	0.0	0.0	18.2	6.1	48.6	3.0	3.0	6.0	0.0	0.0	45.4	45.4

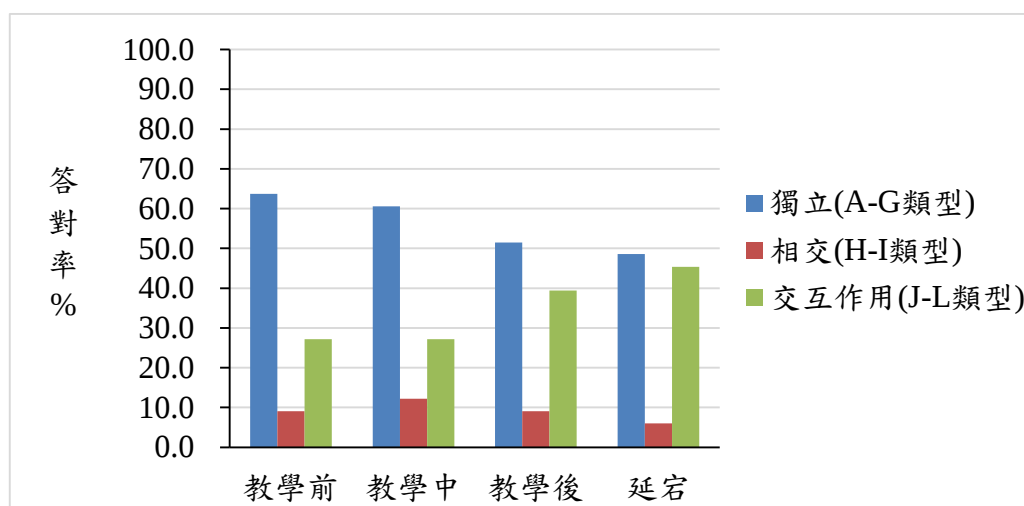


圖 4-3-13 實驗組學生的概念類型分布比例

此外，就 L 概念類型的人數來說，發現在教學前、中、後以及延宕的人數比例也逐漸提高，分別為 24.2%、21.2%、36.4%以及 45.4%。

表 4-3-1 中可以瞭解隨著教學的進行，C 以及 E 兩種類型會逐漸消失，這是因為 C 類型的兩個上階概念分別為氧化還原的概念以及電解質的概念(圖 4-3-3)，從範例中得知這類型的學生認為電池與電解的上階概念是電解質，並和氧化還原概念之間沒有連結性，為獨立存在，但隨著教學的進行，發現學生會進行概念改變，此概念類型會消失，除此之外，從這一類型的學生概念圖中會發現有一共通點，就是學生容易將「電解」和「解離」兩名詞相混淆。E 類型的兩個上階概念分別為氧化應的概念以及還原反應的概念(圖 4-3-5)，從範例中得知這類型的學生認為氧化反應以及還原反應是可以獨立存在，但這類典型的錯誤概念也會隨著教學的進行而消失。

三、實驗組學生的概念演變

根據學生在教學前、中、後以及延宕的概念圖類型繪製成概念類型演變路徑圖(圖 4-3-14)，從圖中可以發現實驗組學生在教學前到教學中，經歷了兩堂課的氧化還原教學，要從獨立的類別到相交或者交互作用的類別的可能性很小，但經歷七堂課後的表現中，發現有部分學生可以從獨立的類別到連結性強的交互作用類別，而在延宕測驗中，仍有部分學生能從獨立類別到交互作用的類別，但有部分學生卻從交互作用的類別回到獨立或者相交的類別，不過，仍有 45.4% 學生可以保留較完整的 L 概念類型。

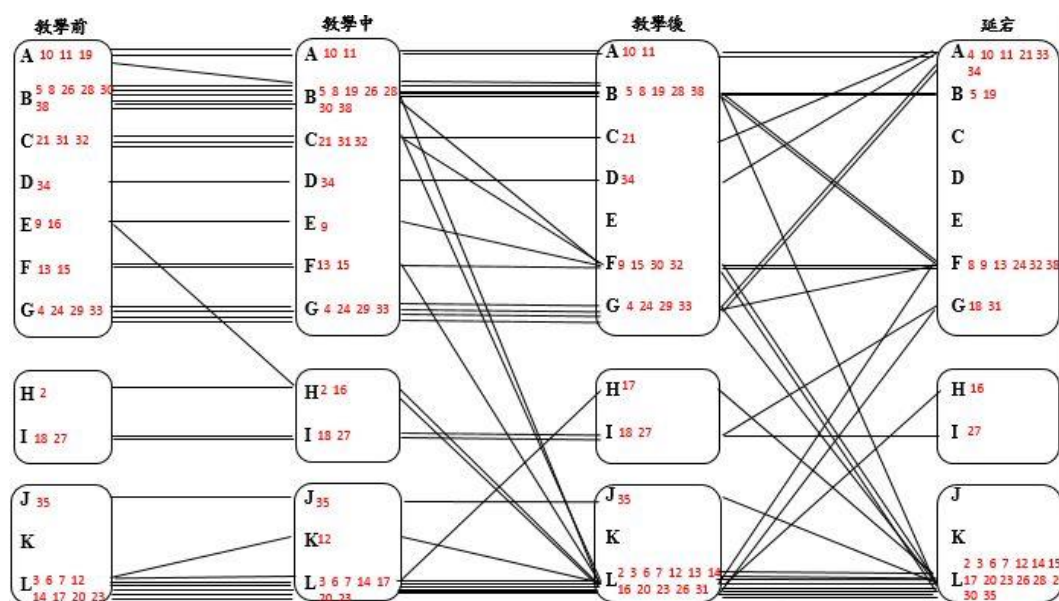


圖 4-3-14 實驗組學生概念類型的演變路徑圖

此外，發現實驗組學生概念類型的演變路徑以 $L(8, 24.2\%) \rightarrow L(7, 21.2\%) \rightarrow L(6, 18.2\%) \rightarrow L(6, 18.2\%)$ 的人數最多，其次為 $B(6, 18.2\%) \rightarrow B(6, 18.2\%) \rightarrow B(5, 15.2\%) \rightarrow F(2, 6.1\%)$ ，從這條路徑發現實驗組學生在教學前有 18.2% 的學生認為氧化還原反應以及電解是上階概念，而彼此相互獨立，直到延宕測驗中有 6.1% 的學生認為氧化還原、電池以及電解三大概念彼此互相獨立。發現這類學生經過以明示法呈現次微觀的多重表徵教學仍無法發生概念改變，因此在延宕測驗中這類學生呈現出的概念圖是這三大概念互相獨立存在。

四、對照組學生的概念類型

從對照組學生在 12 種概念類型的分佈(表 4-3-2 及圖 4-3-15)，發現不論在教學前、中、後以及延宕都有超過 50%的對照組學生對於氧化還原概念、電池概念以及電解概念呈現各自獨立，是片段的概念。然而，隨著教學的進行，也發現有些學生在三概念的連結關係會越來越緊密，為交互作用的類型，其人數比例在教學前、中、後以及延宕分別為 15.7%、18.8%、34.4%以及 40.6%。此外，就 L 概念類型的人數來說，發現在教學前、中、後以及延宕的人數比例也逐漸提高，分別為 9.4%、15.6%、28.1%以及 37.5%。

表 4-3-2 對照組學生的概念類型分佈

種類	獨立								相交			交互作用			
類型	A	B	C	D	E	F	G	總和	H	I	總和	J	K	L	總和
教學前(%)	34.4	3.1	3.1	6.3	6.3	12.5	0.0	65.7	6.3	12.5	18.8	6.3	0.0	9.4	15.7
教學中(%)	25.0	3.1	9.4	6.3	3.1	12.5	0.0	59.4	6.3	15.6	21.9	6.3	0.0	12.5	18.8
教學後(%)	18.8	3.1	3.1	6.3	3.1	18.8	0.0	53.2	3.1	9.4	12.5	6.3	0.0	28.1	34.3
延宕(%)	25.0	0.0	0.0	0.0	3.1	28.1	0.0	56.2	3.1	0.0	3.1	3.1	0.0	37.5	40.6

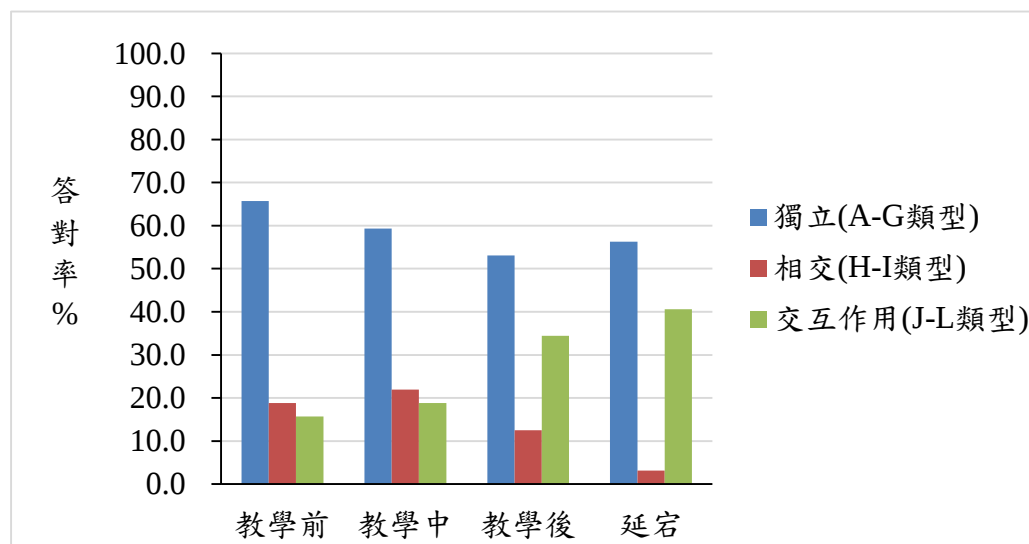


圖 4-3-15 對照組學生的概念類型分布比例

從表 4-3-2 中發現對照組的學生沒有 G 概念類型(有四個以上的概念組合，彼此之間都是獨立存在)和 K 的概念類型(是密切連結的交互作用類別，但是連結詞呈現錯誤的概念「離子中電子交換的方式為氧化還原」)，也發現隨著教學的進行，B、C、D 以及 I 四種類型會逐漸消失，這是因為 B 類型的兩個上階概念分別為氧化還原的概念以及電解的概念(圖 4-3-2)，從範例中得知這類型的學生認為電池與電解的上階概念是電解，並和氧化還原概念之間沒有連結性，為獨立存在，但隨著教學的進行，發現學生會進行概念改變，此概念類型會消失。

D 類型的兩個上階概念分別為氧化還原的概念以及電子轉移的概念(圖 4-3-4)，從範例中得知這類型的學生不清楚電子轉移的概念，因此這類型的概念也會隨著教學的進行而消失。

I 類型為相交的類別，兩個上階概念分別為氧化還原的概念以及電解的概念(圖 4-3-9)，兩者間學生以電子轉移作為連結，而隨著教學的進行，發現學生會進行概念改變，此概念類型會消失。

五、對照組學生的概念演變

根據學生在教學前、中、後以及延宕的概念圖類型繪製成概念類型演變路徑圖(圖 4-3-16)，從圖中每一條線都代表一位學生，可以發現對照組學生在教學前到教學中，經歷了兩堂課的氧化還原教學，要從獨立的類別到相交或者交互作用的類別的可能性很小，但經歷七堂課後的表現中，發現有部分學生可以從獨立的類別到連結性強的交互作用類別，而在延宕測驗中，仍有部分學生能從獨立類別到交互作用的類別，但有部分學生卻從交互作用的類別回到獨立或者相交的類別，不過，仍有 37.5% 學生可以保留較完整的 L 概念類型。

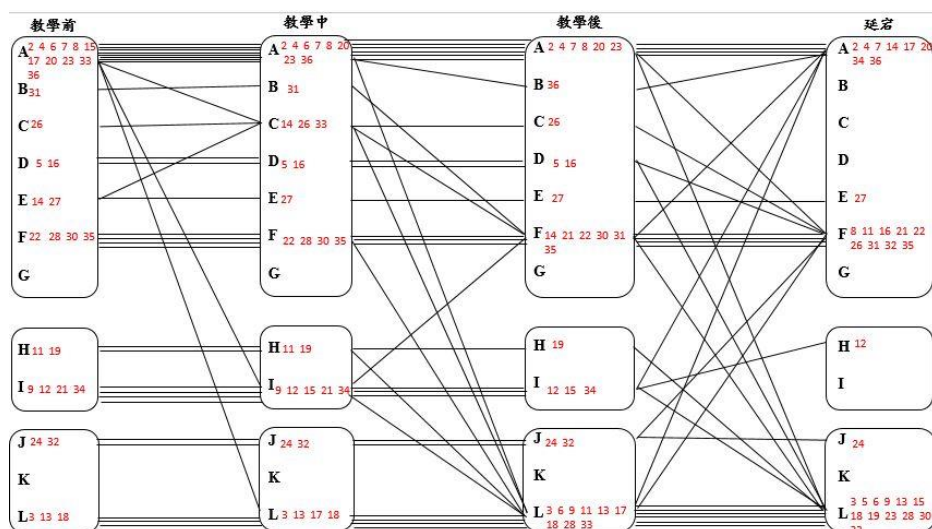


圖 4-3-16 對照組學生概念類型的演變路徑圖

此外，發現對照組學生概念類型的演變路徑以 A(11, 34.4%)→A(8, 25.0%)→A(6, 18.8%)→A(4, 12.5%)為最多人，從這條路徑發現對照組學生在教學前有 34.4%的學生認為氧化還原反應以及電池是上階概念，而彼此相互獨立，直到延宕測驗仍有 12.5%的學生沒有發生概念改變，因此，以暗示法呈現的次微觀不易讓學生清楚瞭解電池機制與氧化還原反應的關係，導致學生在呈現概念圖上認為氧化還原反應與電池是屬於互相獨立的概念。

六、小結

在教學後實驗組學生的 L 類型比例為 36.3%，高於對照組的 28.1%；在延宕測驗中發現 45.4%的實驗組學生為 L 類型，37.5%的對照組學生為 L 類型。此外，以概念演變的路徑圖來看，發現實驗組學生以 L→L→L→L 最多，其次為 B→B→B→F，而對照組學生則是以 A→A→A→A 最多。因此，研究發現學生經過以明示法呈現次微觀的多重表徵教學中較能幫助學生加強氧化還原概念、電池概念以及電解概念的連結，亦即透過次微觀的動畫可以加強學生在這三概念間的連結。此外，在教學前到教學中學生經歷兩節課的氧化還原概念，發現學生要從獨立到交互作用類別較不容易，大多數學生都只是透過豐富的方式進行概念改變，但直到教學後以及延宕測驗中才會發現有部分學生會透過修正的方式進行概念改變。

第四節 多重表徵教學情意面向分析

本節分析主要依據實驗組與對照組學生在教學後填寫情意問卷所得的量化/質性資料，加以分析而得到以下結果。本節結果分析概分成四個部分：實驗組與對照組學生分別對電子白板、IRS 和實驗影片之想法比較以及實驗組學生對粒子影片之想法，並從是否能幫助增進概念理解、提升學習興趣和造成學習負擔等面向以四個等第(非常同意、同意、不同意和非常不同意)來分析。以下為本研究分析：

一、實驗組與對照組學生對電子白板之想法

根據表 4-4-1、圖 4-4-1 及圖 4-4-2 所顯示，實驗組(42.4%非常同意、48.5%同意)與對照組(31.3%非常同意、56.3%同意)的學生大多認為電子白板能提升學習興趣，少數學生則不認為電子白板能提升學習興趣(實驗組 6.1%不同意、3.0%非常不同意；對照組 12.5%不同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 1、2、3 的回答)，我們可以瞭解當使用電子白板上課時，較能引起學生興趣且課堂更活絡有互動性，進而幫助學生專注在教學內容上。

另一方面，大多數學生認為電子白板不會造成學習負擔(實驗組 48.5%不同意、33.3%非常不同意；對照組 71.9%不同意、12.5%非常不同意)，少數學生則認為電子白板造成學習負擔(實驗組 3.0%非常同意、15.2%同意；對照組 15.6%同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 4 的回答)，我們可以瞭解少數想記筆記的學生，會來不及反應。

學生 1：很新鮮，把化學課變活潑、有互動。

學生 2：能比投影片更有印象。

學生 3：很生動，可以增加互動。

學生 4：字幕很大，而且很好玩。但有時來不及抄筆記。

表 4-4-1 實驗組與對照組學生對電子白板的想法

	實驗組/對照組人數% (N = 33, 32)							
	非常同意		同意		不同意		非常不同意	
提升學習興趣	42.4	31.3	48.5	56.3	6.1	12.5	3.0	0.0
造成學習負擔	3.0	0.0	15.2	15.6	48.5	71.9	33.3	12.5

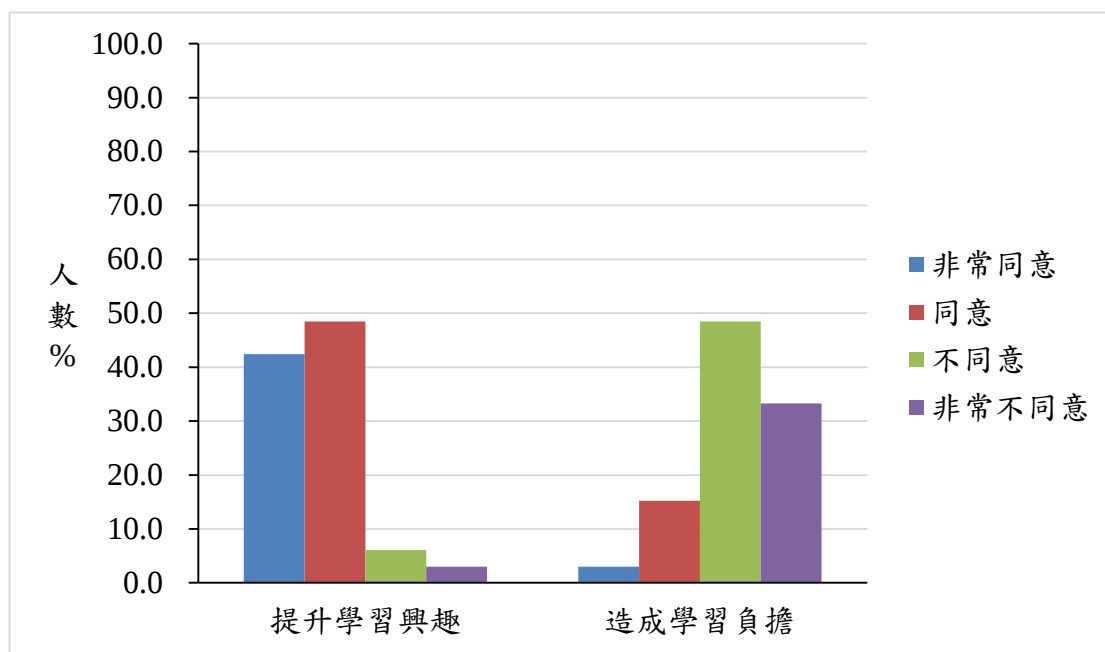


圖 4-4-1 實驗組學生對電子白板想法的分布圖

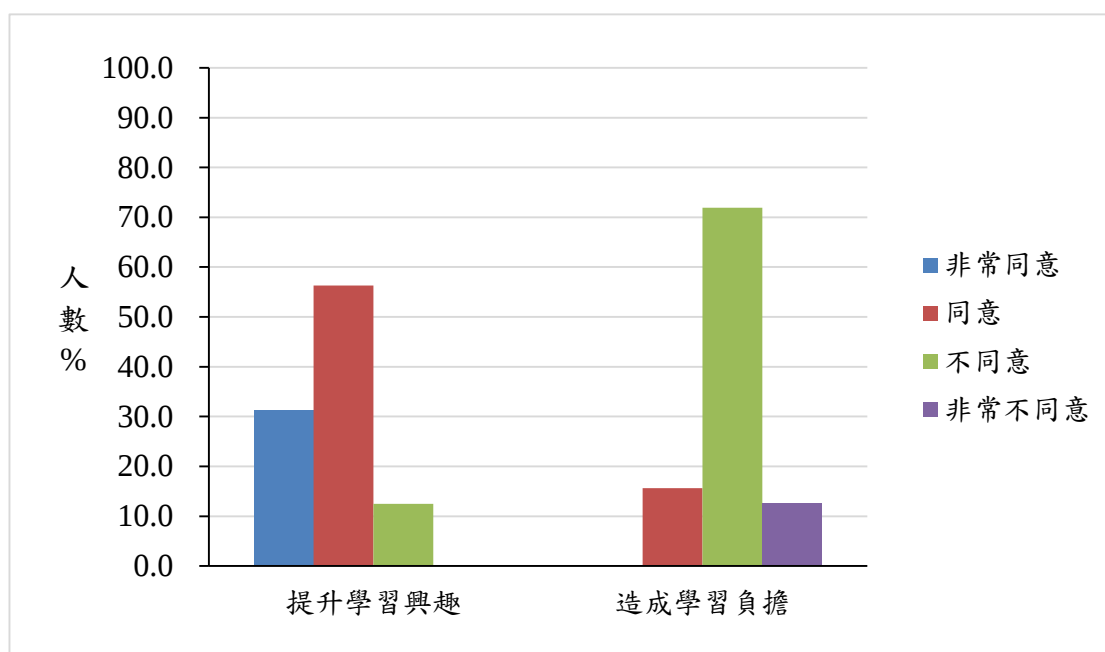


圖 4-4-2 對照組學生對於電子白板想法的分布圖

二、實驗組與對照組學生對 IRS 之想法

根據表 4-4-2、圖 4-4-3 及圖 4-4-4 所顯示，實驗組(45.5%非常同意、42.4%同意)與對照組 21.9%非常同意、65.6%同意) 學生大多認為 IRS 能提升學習興趣，少數學生則不認為 IRS 能提升學習興趣(實驗組 9.1%不同意、3.0%非常不同意；對照組 12.5%不同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 1~3 回答)，我們可以瞭解當使用 IRS 上課時，較能引起學生興趣且課堂更活絡、參與課堂活動、也免除了害怕答錯答案，因而更把注意力放在課堂中。此外，學生認為更能快速了解自己的學習狀況、確認有無吸收課堂所習得的知識。

學生 1：很方便，且避免答錯時的尷尬。

學生 2：滿好玩，而且可以經由玩樂來學習。

學生 3：跟傳統的舉手搶答相比，很有趣，因為大家都可以回答。

學生 4：可以快速測出大家是否對課程內容瞭解，很棒。

學生 5：很刺激，可以快速了解學習狀況。

學生 6：很好玩，通以立即測驗自己有無吸收。

另一方面，實驗組(48.5%不同意、39.4%非常不同意)與對照組(65.6%不同意、31.3%非常不同意)學生大多認為 IRS 不會造成學習負擔，少數學生(實驗組 12.1%非常同意；對照組 3.1%同意)則認為 IRS 造成學習負擔。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 7、8 的回答)，我們可以瞭解部分學生則認為容易受到其他同儕的影響。

學生 7：還不錯，但有些人在回答會拖延上課時間。

學生 8：壓力很大，因為作答時看到大家都已回答答案，自己還沒有總覺得滿可怕的。

表 4-4-2 實驗組與對照組學生對 IRS 之想法

	實驗組/對照組人數% (N = 33, 32)							
	非常同意		同意		不同意		非常不同意	
提升學習興趣	45.5	21.9	42.4	65.6	9.1	12.5	3.0	0.0
造成學習負擔	12.1	0.0	0.0	3.1	48.5	65.6	39.4	31.3

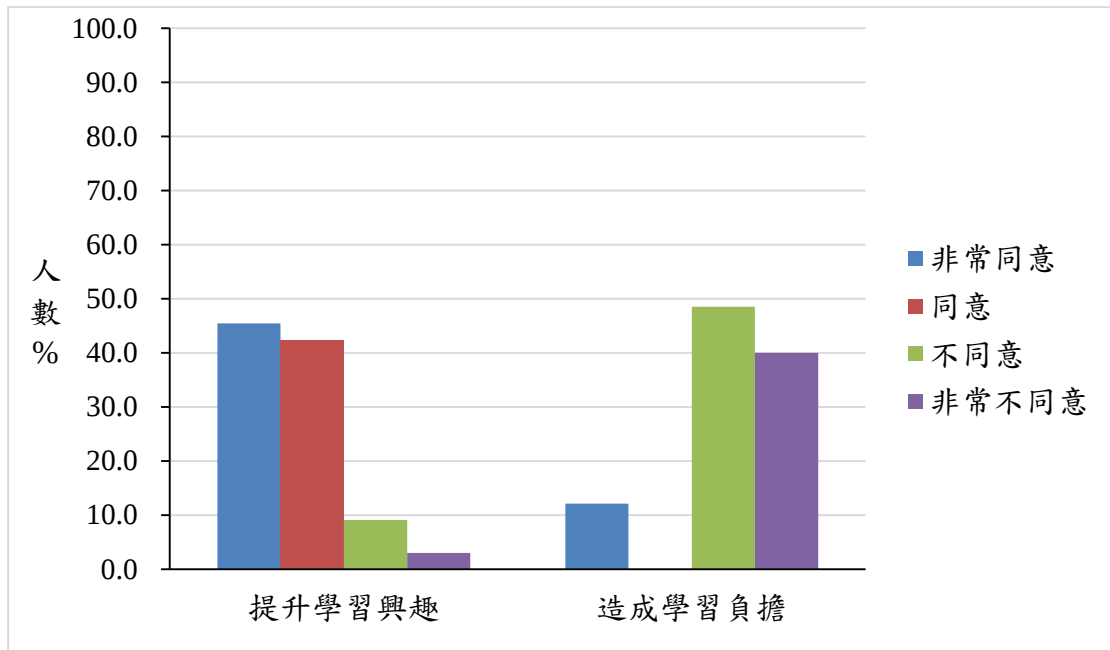


圖 4-4-3 實驗組學生對於 IRS 想法的分布圖

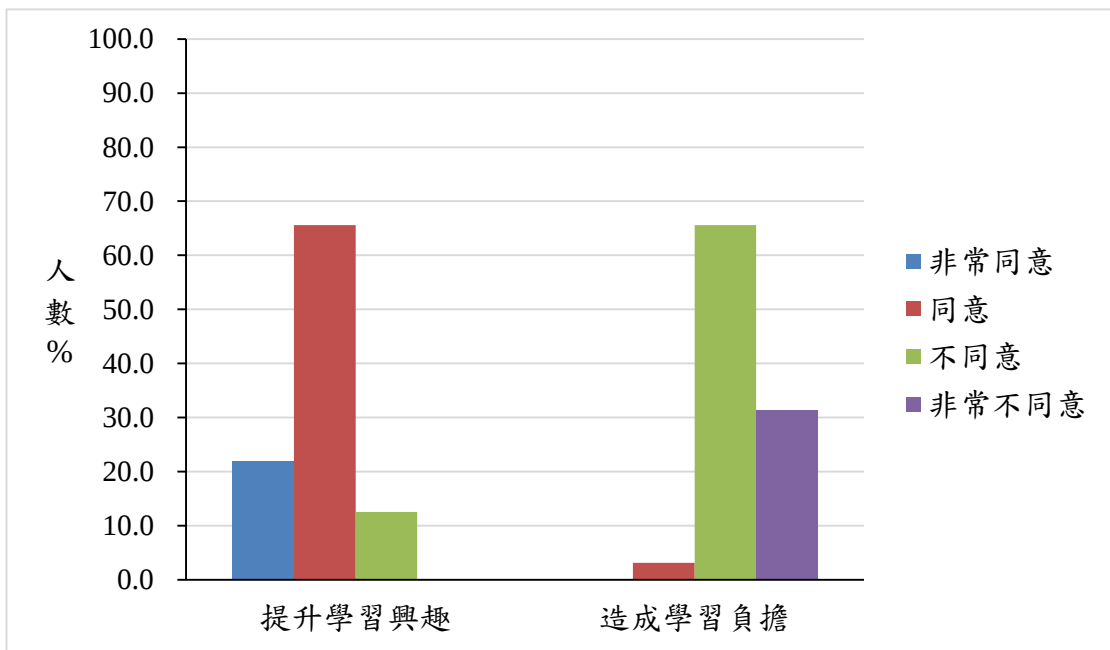


圖 4-4-4 對照組學生對 IRS 想法的分布圖

三、實驗組與對照組學生對實驗影片之想法

根據表 4-4-3、圖 4-4-5 及圖 4-4-6 所顯示，實驗組(57.6%非常同意、39.4%同意) 與對照組 (46.9%非常同意、53.1%同意)學生大多數認為實驗影片能增進概念理解，少數學生則不認為實驗影片能增進概念理解(實驗組 3.0%非常不同意；對照組 0.0%)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 1~5 的回答)，我們可以發現實驗影片能幫助學生更了解化學反應以及實驗的過程和工具，進而彌補文字敘述不清楚的部分，幫助概念理解。

學生 1：實驗的影片會讓我更了解實驗的過程和工具。

學生 2：可以較清楚知道化學反應實驗。

學生 3：有影片對照自己的想像，可檢查自己的想像是否有誤。

學生 4：可以更清楚的瞭解實驗過程，彌補文字敘述不懂的部分。

學生 5：這樣可以讓我比較具體知道課本上講的和真實的反應。

另一方面，實驗組(57.6%非常同意、39.4%同意)與對照組 (43.8%非常同意、56.3%同意) 學生大多認為實驗影片能提升學習興趣，少數學生則不認為實驗影片能提升學習興趣(實驗組 3.0%非常不同意；對照組 0.0%)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 6、7 回答)，我們可以瞭解當使用實驗影片上課時，較能引起學生興趣且課堂更活絡、參與課堂活動，因而更把注意力放在課堂中。

學生 6：實驗影片教學很有趣，可學到東西。

學生 7：容易讓人印象深刻，希望以後多一點。

此外，實驗組(48.5%不同意、36.4%非常不同意)與對照組(56.3%不同意、37.5%非常不同意)學生大多認為實驗影片不會造成學習負擔，少數學生(實驗組 6.1%非常同意、9.1%同意；對照組 9.4%同意)則認為實驗影片造成學習負擔。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 8、9 的回答)，我們可以瞭解部分學生則希望能親自動手做實驗。

學生 8：比起影片，我更想做實驗。

學生 9：對實驗了解有幫助但缺乏實際操作的感覺。

表 4-4-3 實驗組與對照組學生對實驗影片之想法

實驗組/對照組人數% (N = 33, 32)								
	非常同意		同意		不同意		非常不同意	
增進概念理解	57.6	46.9	39.4	53.1	0.0	0.0	3.0	0.0
提升學習興趣	57.6	43.8	39.4	56.3	0.0	0.0	3.0	0.0
造成學習負擔	6.1	0.0	9.1	9.4	48.5	56.3	36.4	37.5

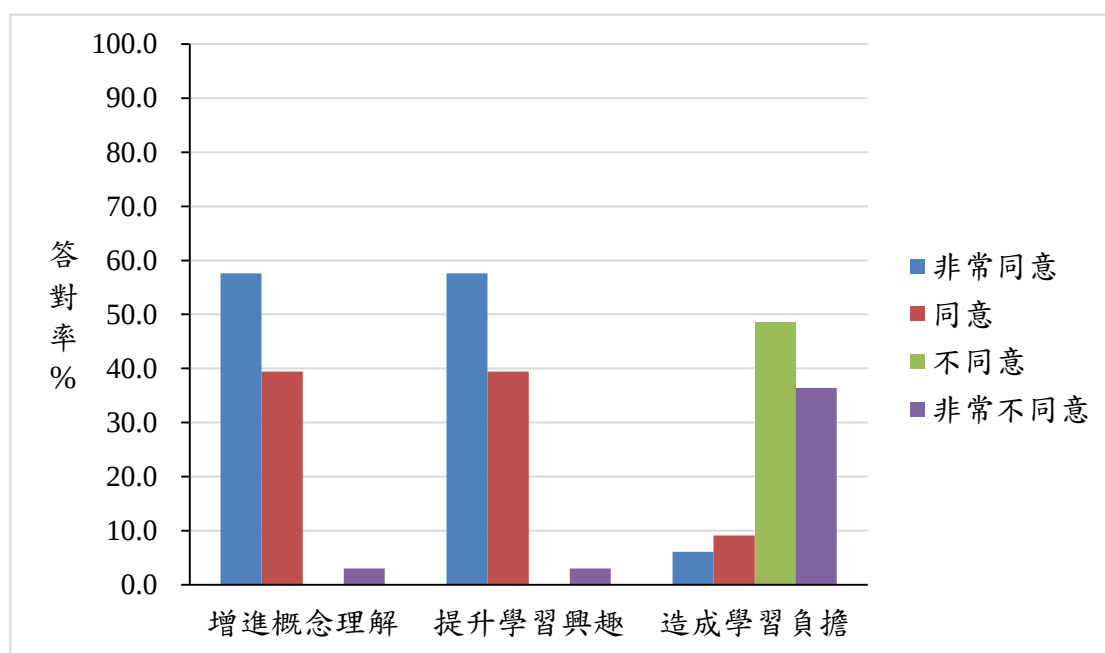


圖 4-4-5 實驗組學生對實驗影片想法的分布圖

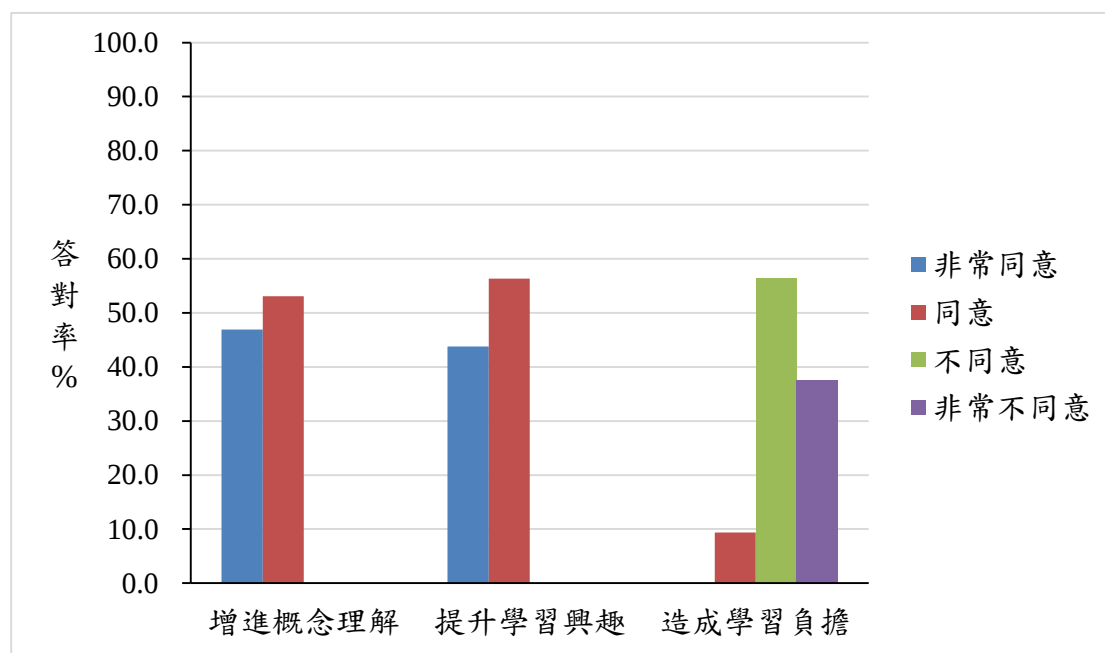


圖 4-4-6 對照組學生對實驗影片想法的分布圖

四、實驗組學生對粒子影片之想法

根據表 4-4-4 及圖 4-4-7 所顯示，學生大多數認為實驗影片能增進概念理解(57.6%非常同意、36.4%同意)，少數學生則不認為粒子影片能增進概念理解(3.0%不同意、3.0%非常不同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 1~5 的回答)，我們可以瞭解粒子影片幫助學生更了解化學反應以及實驗的過程和工具，進而彌補文字敘述不清楚的部分，幫助概念理解。

學生 1：可看到實驗肉眼看不到的部分，更了解整個實驗。

學生 2：讓我了解電離子間的移動與過程。

學生 3：能更清楚簡單的看過程。

學生 4：實驗比較難看出變化，粒子影片幫助我知道裡面的變化。

學生 5：可以更了解化學反應內部發生的變化。

另一方面，學生大多認為粒子影片能提升學習興趣(54.6%非常同意、42.4%同意)，少數學生則不認為粒子影片能提升學習興趣(3.0%非常不同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 6、7 回答)，我們可以瞭解當使用粒子影片上課時，較能引起學生興趣且課堂更活絡，因而更把注意力放在課堂中。

學生 6：比原來文字解說更明白課本的內容，太棒了。

學生 7：超棒！讓我清楚看到原來是這麼一回事呀！

此外，實驗組學生大多認為粒子影片不會造成學習負擔(24.2%不同意、54.6%非常不同意)，少數學生則認為粒子影片造成學習負擔(6.1%非常同意、15.2%同意)。從學生開放式問題的回答(如下框中學生 8 的回答)，我們可以瞭解部分學生則希望能親自動手做實驗。

學生 8：比起影片，我更想做實驗。

學生 9：對實驗了解有幫助但缺乏實際操作的感覺。

表 4-4-4 實驗組學生對粒子影片之想法

	實驗組人數% (N = 33)			
	非常同意	同意	不同意	非常不同意
增進概念理解	57.6	36.4	3.0	3.0
提升學習興趣	54.6	42.4	0.0	3.0
造成學習負擔	6.1	15.2	24.2	54.6

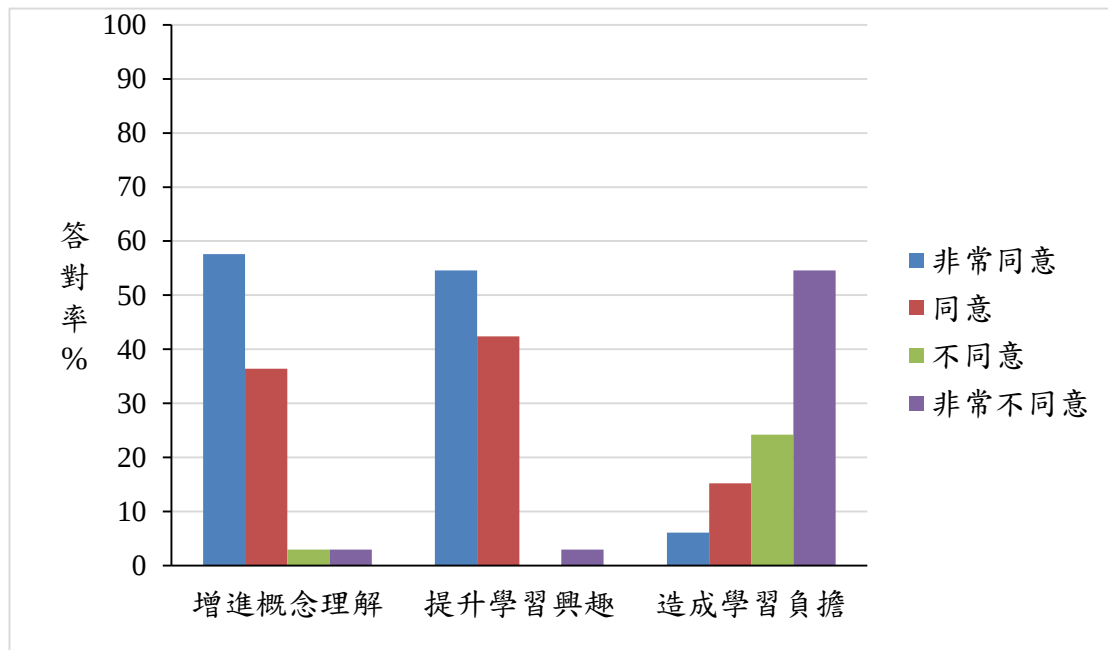


圖 4-4-7 實驗組學生對於粒子影片想法的分布圖

第伍章 結論與建議

本研究是以 65 位高一升高二的學生作為研究對象，並隨機分配至實驗組與對照組。利用化學反應測驗試題、課堂評量以及概念圖進行先有概念、學習表現以及概念演變途徑的分析，期望能藉此回答本研究所提出的問題。以下為本研究的結論與建議。

第一節 結論

本研究的主要發現如下：

一、明示次微觀的多重表徵教學有助於學生建立電池機制

全體學生經過七堂課的多重表徵教學來瞭解氧化還原概念、電池概念以及電解概念，藉由巨觀的實驗影片或示意圖、符號、語言表徵，另外實驗組還搭配次微觀的粒子影片，而對照組則是使用次微觀的示意圖表示，研究發現實驗組學生顯著優於對照組學生的概念是電池機制，其他氧化還原概念、電解概念也比對照組學生好，但未達顯著差異。因此，明示次微觀的多重表徵是能夠幫助學生建立電池機制的概念。

二、明示次微觀的多重表徵教學有助於學生概念改變

部分學生在教學前認為氧化反應可以單獨發生，也不清楚得失電子與氧化劑或還原劑的關係，而在電池機制上則認為電子會經過鹽橋到另一極。再經歷七堂課的教學，發現明示次微觀的多重表徵教學能有效協助學生理解並進行正確的概念改變，不過，仍有極少數學生無法透過本次教學活動設計達到概念改變。

三、明示次微觀的多重表徵教學有助於學生在氧化還原概念與電池、電解概念上的連結

從學生的概念圖研究中發現大多數學生在教學前對於這三概念都是獨立存

在的，但隨著教學，發現學生能夠在概念與概念間進行連結與組合，因此明示次微觀的多重表徵教學將有助於學生全面理解。

第二節 建議

根據本研究的結果，從科學學習、教學策略以及研究方法上提出以下建議：

一、在科學學習方面

學生在學習化學概念時，應要將相關的概念一起進行教學，電池與電解概念是氧化還原反應的應用層面，將這三概念一起進行教學，有助於學生的概念連結，因此建議未來化學教學能將相關的概念一同進行教學，以協助學生全盤理解。

二、在教學策略方面

學生在學習化學時，必須要將所有表徵(巨觀、次微觀、符號與語言)同時呈現，讓學生能夠透過這些表徵進行概念理解，此外，使用明示次微觀的粒子影片更能幫助學生理解概念，以澄清學生的迷思概念。但少數學生仍然不清楚電池機制以及電解機制中電子移動的情形，建議教師在教學時，能加強並澄清此迷思概念。

三、在研究方法方面

在經過本次七堂課的教學活動後，仍有少數學生無法進行概念改變，建議要完全破除學生的迷思概念除了以多重表徵教學外，可能需要其他的方式讓學生達到概念改變。此外，在使用即時回饋系統進行課堂評量時，課堂評量的設計要與教學內容、概念試題更緊密結合，以隨時偵測學生的概念改變情形。最後，要使用概念圖作為研究工具，建議能搭配晤談或者放聲思考的策略，更能清楚瞭解學生在繪製概念圖的想法。

參考文獻

中文文獻

- 丁鉉鎰（2000）。國中氧化還原概念之精熟學習研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 邱美子（2001）。國中電化學電腦動畫輔助教學之學習成效研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 邱美虹（2000）。概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊**, 8(1), 1-34。
- 邱美虹（2008）。化學教育中建模模式的研發與實踐—子計畫四：以認知師徒制及建模教學探討建模能力與歷程對學生學習物質科學中「氧化與還原」與「電化學」之影響。國科會結案報告。
- 邱鴻麟、蔣勝發（2003）。以CAL促進高中化學「氧化還原反應」單元有意義學習之研究。**科學與教育學報**, 4, 237-251。
- 李岱芳（2003）。情境式學習在「氧化還原」網路之應用與研究。靜宜大學資訊管理學系研究所碩士論文（未出版）。
- 林香岑（2000）。高中「電化學」概念媒體教學與教師教學策略之研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 教育部（2008）。普通高級中學必修科目「基礎化學」課程綱要。上網日期：2012 年，8 月 13 日。檢自：
http://www.edu.tw/files/site_content/B0035/%E5%9F%BA%E7%A4%8E%E5%8C%96%E5%AD%B8-%E5%BF%85%E4%BF%AE.pdf
- 陳香如（2000）。高一學生氧化還原概念之精熟學習研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 陳惠邦（2006）。互動白板導入教室教學的現況與思考。在「**全球華人資訊教育創新論壇**」，淡江大學蘭陽校區，2006年12月18-20日。
- 陳寶山（2008）。預習導讀、同儕評量與 IRS 結合運用—與「學校行政」課堂教學為例。**學校行政雙月刊**, 58, 150-180。
- 陳玉嬋（2011）。互動式電子白板對國二學生贈然科學學習成效之影響。國立臺

- 灣師範大學化學系在職進修碩士班碩士論文（未出版）。
- 郭順利（1997）。高中學生在電化學的錯誤概念。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文（未出版）。
- 張秀澂（2002）。電腦動畫融入教學對國中生電化學學習成就影響之研究。國立臺灣師範大學化學系在職進修碩士班碩士論文（未出版）。
- 黃靖婷（2010）。探討融入 CCM 理論於 5E 探究學習環在國中氧化還原概念改變教學成效之研究。國立彰化師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。
- 詹耀宗、邱鴻麟（2004）。以多元觀點探討中學生氧化還原迷思概念。**高雄師大學報**，17，337-358。
- 廖乃瑩（2010）。互動式電子白板應用於國中自然科教學對學習動機與成效影響之研究。國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系碩士論文（未出版）。
- 劉亦恭、王鄭慈（2010）。應用電子白板在國中數學教學成效之研究。在「**離島資訊技術與應用研討會**」，高雄，2010 年 5 月 28-29 日。
- 鍾曉蘭（2007）。以多重表徵的模型教學探究高二學生理想氣體心智模式的類型及演變的途徑。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文（未出版）。

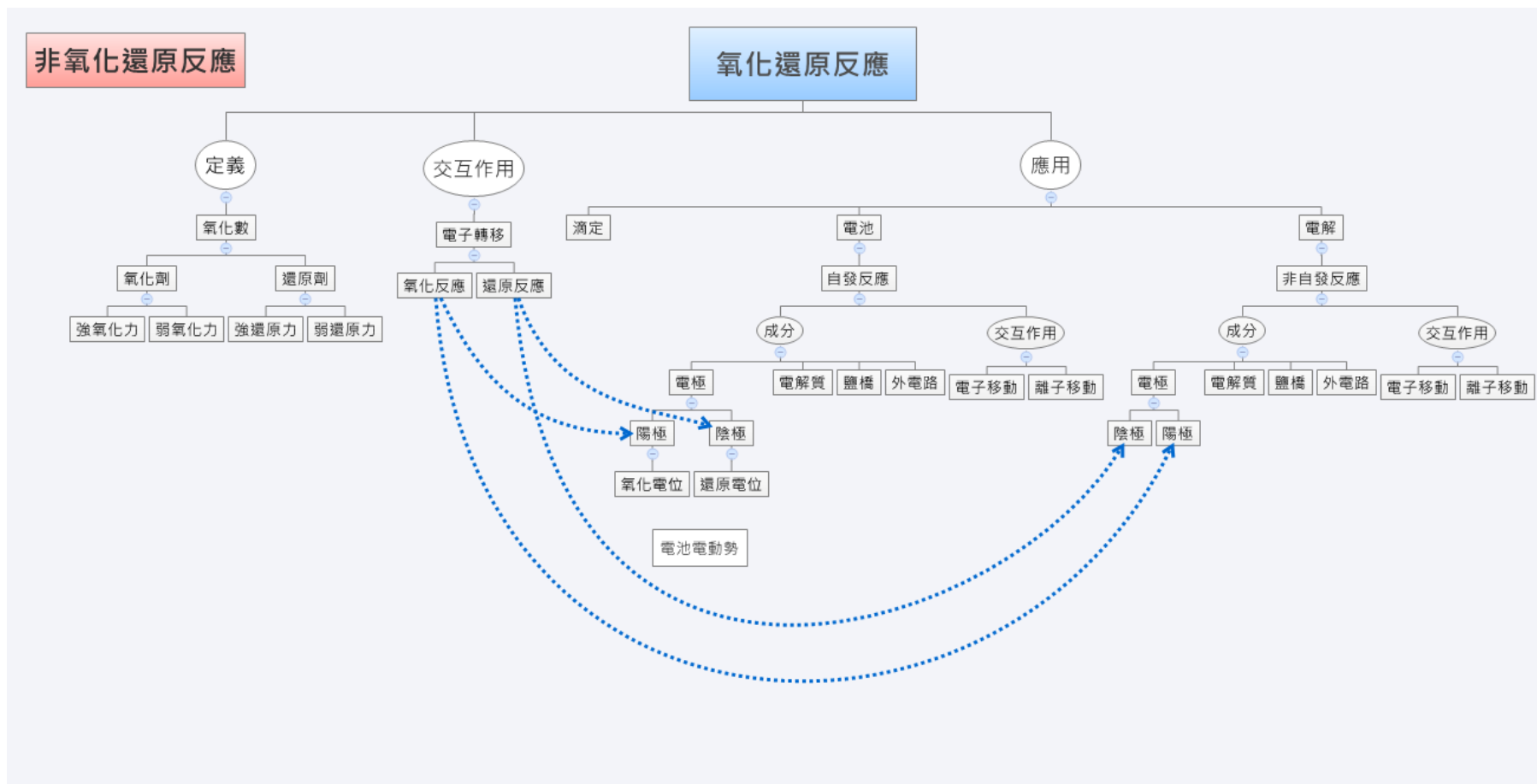
英文文獻

- Ainsworth, S. (1999). The Functions of Multiple Representations. *Computers & Education*, 33, 131-152.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education, In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education*, (pp.41-57). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, (pp. 129-186). University of Minnesota Press: Minneapolis, MN.
- Chi, M.T.H., Slotta, J.D., & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chi, M.T.H. (2008). Three Types of Conceptual change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of Research on Conceptual change*(pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chiu, M.H. (2012). Localization, Regionalization, and Globalization of Chemistry Education. *Australian of Chemical Education*.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Garnett, P.J., & Treagust, D.F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 121-142.
- Gilbert, J.K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education*: Springer.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Johnstone, A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching: a Changing Response to Changing Demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9),

701-705.

- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49-56.
- Nakhleh, M.B., & Postek, B. (2008). Learning Chemistry Using Multiple External Representations. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education*: Springer.
- Northcote, M., Mildenhall, P., Marshall, L., & Swan, P. (2010). Interactive Whiteboards: Interactive or Just Whiteboards? *Australian Journal of Educational Technology*, 26(4), 494-510.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Sanger, M.J., & Greenbowe, T.J. (1997). Students' Misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 819-823.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2012). Reframing the Classical Approach to Conceptual change: Preconceptions, Misconceptions and Synthetic Models In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*: Springer.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.

附錄一、概念圖



附錄二、化學反應測驗試題雙向細目表

主概念	次概念		試題類型	題號	題數	
非氧化還原概念			選擇題	1-4;1-7	4	
			問答題	1-5;1-8		
氧化還原概念			選擇題	1-1;3-8	4	
			問答題	1-2;2-4		
	定義	氧化數	選擇題	2-1;2-2;2-3	6	
			填充題	1-3;1-6;1-9		
		氧化劑	選擇題	2-5;2-6;2-7;2-8;3-3;3-4	8	
			還原劑	填充題		3-1
				問答題		3-2
				強弱氧化力 強弱還原力	選擇題	2-9;2-10
	交互作用	電子轉移	氧化反應 還原反應	選擇題	3-5	1
	應用	滴定	選擇題	3-6	2	
			問答題	3-7		
	電池(自發反應)		成分	電極	選擇題	4-1;4-2;4-3;4-4
		電解質		填充題	4-5	

電解(非自發反應)	鹽橋 外電路				
	交互 作用	電子移動	選擇題	4-6;4-7-I;4-8-I(4-7-II.4-8-II)	7
		離子移動		4-9;4-10-I;4-11-I(4-10-II.4-11-II)	
			問答題	4-12	
	成分	電極	選擇題	5-1;5-2;5-3;5-4	5
		電解質	填充題	5-5	
		鹽橋 外電路			
	交互 作用	電子移動	選擇題	5-6;5-7-I;5-8-I(5-7-II.5-8-II)	7
		離子移動		5-9;5-10-I;5-11-I(5-10-II.5-11-II)	
			問答題	5-12	

附錄三、化學反應測驗試題

化學反應測驗試題

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____

一、下面有幾個常見的化學反應，請你試著判斷屬於哪種類別？

請在□打✓，並寫下您的理由及其氧化數變化。

1-1. 鎂帶燃燒： 2Mg （鎂） + O_2 （氧氣） $\xrightarrow{\Delta}$ 2MgO （氧化鎂）

☐ 氧化反應

☐ 還原反應

☐ 氧化還原反應

☐ 酸鹼反應

☐ 沉澱反應

☐ 分解反應

☐ 其他：_____

1-2. 我的理由：_____

1-3. Mg 的氧化數變化情形：由 _____ → _____，其氧化數變化量 = _____

O 的氧化數變化情形：由 _____ → _____，其氧化數變化量 = _____

1-4. 碳酸鈣高溫加熱： CaCO_3 （碳酸鈣） $\xrightarrow{\Delta}$ CaO （氧化鈣）+ CO_2 （二氧化碳）

☐ 氧化反應

☐ 還原反應

☐ 氧化還原反應

☐ 酸鹼反應

☐ 沉澱反應

☐ 分解反應

☐ 其他：_____

1-5. 我的理由：_____

1-6. Ca 的氧化數變化情形：由 _____ → _____，其氧化數變化量 = _____

C 的氧化數變化情形：由 _____ → _____，其氧化數變化量 = _____

O 的氧化數變化情形：由 _____ → _____，其氧化數變化量 = _____

1-7. 鹽酸和氫氧化鈉反應： HCl （鹽酸）+ NaOH （氫氧化鈉）→ NaCl （氯化

鈉）+ H_2O （水）

☐ 氧化反應

☐ 還原反應

☐ 氧化還原反應

☐ 酸鹼反應

☐ 沉澱反應

☐ 分解反應

☐ 其他：_____

1-8.我的理由：_____

1-9. H 的氧化數變化情形：由_____→_____，其氧化數變化量=_____

Cl 的氧化數變化情形：由_____→_____，其氧化數變化量=_____

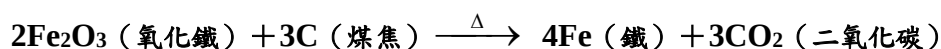
Na 的氧化數變化情形：由_____→_____，其氧化數變化量=_____

O 的氧化數變化情形：由_____→_____，其氧化數變化量=_____

1-10. () 你對題組一的答題信心程度為何？

(A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

二、從金屬礦提煉金屬的過程稱為「冶煉」。將煤焦和一些金屬的氧化物發生反應，而奪去氧氣，產生元素狀態金屬的過程，就是金屬冶煉的原理。例如冶鐵反應：



2-1. () 會發生氧化還原反應的元素或者化合物，才會牽扯到氧化數的變化？

(A) 對 (B) 不對。

2-2. () Fe_2O_3 (氧化鐵) 中 Fe 的氧化數為何？

(A) 0 (B) +2 (C) +3 (D) -3。

2-3. () 我的理由：

(A) 因為 Fe_2O_3 (氧化鐵) 化合物整體沒有帶任何電荷，所以其氧化數為 0。

(B) 因為整個反應過程中沒有電子的得失，所以 Fe_2O_3 (氧化鐵) 中 Fe 的氧化數為 0。

(C) 因為 1 個 Fe_2O_3 (氧化鐵) 分子中有 2 個 Fe 原子，所以其氧化數為 +2。

(D) 因為氧化數可以從平衡的係數來看，所以 Fe_2O_3 (氧化鐵) 中 Fe 的氧化數為 +2。

(E) 因為不同分子中氧的個數不同，所以 1 個 Fe_2O_3 (氧化鐵) 分子中有 3 個 O 原子，所以其氧化數為 +3。

(F) 因為 Fe_2O_3 (氧化鐵) 失去了 3 個氧原子，所以氧化數為 +3。

(G) 因為氧 (O) 原子的氧化數通常為 -2，所以 Fe_2O_3 (氧化鐵) 中 Fe 的氧化數為 +3。

(H) 因為 Fe_2O_3 (氧化鐵) 在整個反應過程中失去 3 個氧原子，所以其氧化數為 -3。

(I) 其他：_____

2-4. 請用粒子的觀點描述並解釋冶鐵反應過程中電子轉移的情形。

2-5. () 冶鐵反應中，何者屬於氧化劑？

- (A) Fe_2O_3 (氧化鐵) (B) C (煤焦) (C) 此反應無氧化劑

2-6. () 我的理由：

- (A) 因為此反應不屬於氧化還原反應，所以沒有氧化劑。
(B) 此反應僅為還原反應，故無氧化劑的參與。
(C) 因為氧化劑活性較小，會把身上的氧脫去，讓其他物質跟氧結合，所以 Fe_2O_3 是氧化劑。
(D) 因為 Fe_2O_3 是氧化物，故 Fe_2O_3 為氧化劑。
(E) 因為整個過程中，C 氧化成 CO_2 失去電子，而 Fe_2O_3 得到電子， Fe_2O_3 將 C 氧化，所以 Fe_2O_3 為氧化劑。
(F) 因為 Fe_2O_3 變成 Fe 失去電子，而 C 變成 CO_2 得到電子， Fe_2O_3 將 C 氧化，所以 Fe_2O_3 為氧化劑。
(G) 因為 C 變成 CO_2 的過程中，碳的氧化數增加，所以 C 為氧化劑。
(H) 因為 C 使得 Fe_2O_3 得到電子變成 Fe，C 失去電子變成 CO_2 為氧化反應，故 C 為氧化劑。
(I) 其他：_____。

2-7. () 冶鐵反應中，何者屬於還原劑？

- (A) Fe_2O_3 (氧化鐵) (B) C (煤焦) (C) 此反應無還原劑

2-8. () 我的理由：

- (A) 因為此反應不屬於氧化還原反應，所以沒有還原劑。
(B) 因為 C 的活性較大，將 Fe_2O_3 變成鐵，所以 C 是還原劑。
(C) 整個反應過程，C 氧化成 CO_2 失去電子， Fe_2O_3 變成 Fe 得到電子，因為 C 使得 Fe_2O_3 發生還原反應，所以 C 是還原劑。
(D) 整個反應過程，C 氧化成 CO_2 得到電子， Fe_2O_3 變成 Fe 失去電子，因為 C 發生還原反應，所以 C 是還原劑。
(E) 因為 Fe_2O_3 變成 Fe，Fe 的氧化數減少，反應為還原反應；C 變成 CO_2 ，C 的氧化數增加，發生氧化反應，所以 Fe_2O_3 是還原劑。
(F) 因為 Fe_2O_3 變成 Fe 失去電子，本身發生還原反應，所以 Fe_2O_3 是還原劑。
(G) 其他：_____。

2-9. () 請問冶鐵反應中，氧化力大小順序為何？

- (A) $C > CO_2$ (B) $C > Fe$ (C) $Fe_2O_3 > CO_2$ (D) $Fe_2O_3 > Fe$

2-10. () 請問冶鐵反應中，還原力大小順序為何？

- (A) $C > CO_2$ (B) $C > Fe$ (C) $Fe_2O_3 > CO_2$ (D) $Fe_2O_3 > Fe$

2-11. () 你對題組二的答題信心程度為何？

- (A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

三、漂白粉主要成分為氯化次氯酸鈣，而漂白劑通常成分為次氯酸鈉，稀釋過的漂白水除了可以作為漂白衣物使用外，還可以用來清洗居家環境，以達到消毒殺菌的作用。此外，自來水淨化處理的過程中或者在游泳池水也都會使用 Cl_2 消毒殺菌，原因是氯氣溶於室溫下的水會產生和漂白水相同主成分的產物。請根據此情境，回答下列問題：

3-1. 請以化學式分別表示漂白粉以及漂白劑的主要成分？

漂白粉_____

漂白劑_____

3-2. 請根據上述情境推論為何漂白粉和漂白劑的成分都含有次氯酸根呢？

3-3. () 氯氣溶於室溫下的水後，產生與漂白水相同主成分的產物，請問氯氣溶於水的反應方程式為何？

- (A) $Cl_2 + 3H_2O \rightarrow H^+ + Cl^- + HClO_3$
(B) $Cl_2 + 2H_2O \rightarrow H^+ + Cl^- + HClO_2$
(C) $Cl_2 + H_2O \rightarrow H^+ + Cl^- + HClO$

3-4. () 依據 3-3 的反應，請問 $Cl_2 \rightarrow Cl^-$ 之 Cl_2 在此反應中所扮演的角色為何？

- (A) 催化劑 (B) 氧化劑 (C) 還原劑

3-5. () 承 3-4，其半反應式為何？

(A) 催化劑	(A-1) Cl_2 當作催化劑，只是加快反應速率，並沒有參與反應。
	(A-2) Cl_2 當作催化劑，催化溶液中的水與氧氣反應，故半反應式為 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ 。
(B) 氧化劑	(B-1) $Cl_2 \rightarrow 2Cl^- + 2e^-$
	(B-2) $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$
(C) 還原劑	(C-1) $Cl_2 \rightarrow 2Cl^- + 2e^-$
	(C-2) $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$

3-6. () 假若稀釋過的漂白水成分為次氯酸鈉且有 30mL，以標準硫代硫酸鈉 0.03M 滴定，最後只耗盡 20mL，在滴定過程中以過量的碘化鉀當作指示劑，請問漂白水的體積莫耳濃度為多少？

(提示： $2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$)

(A) 0.005M (B) 0.01M (C) 0.015M (D) 0.02M

3-7. 請根據 3.6 題寫出滴定的反應式？

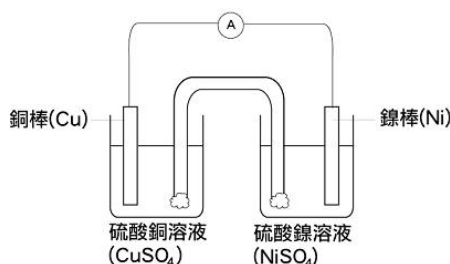
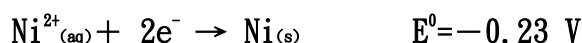
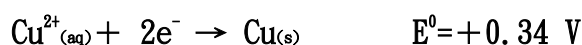
3-8. () 將稀釋過的漂白水用來消毒馬桶之際，發現其有污垢，因此再使用洗廁劑(含鹽酸成分)清洗馬桶，一會兒，有一陣刺鼻味道，有點暈眩。請問此刺鼻味道較可能為何種氣體？

(A) 氯 (B) 氨 (C) 氯化氫 (D) 氯化氮

3-9. () 你對題組三的答題信心程度為何？

(A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

四、下圖裝置為一鎳棒(Ni)浸放在 1M 硫酸鎳(NiSO_4)水溶液中，另一銅棒(Cu)浸放在 1M 硫酸銅(CuSO_4)水溶液中，另以導線連接兩金屬棒與安培計，並且以裝有硝酸鉀(KNO_3)的鹽橋插入兩溶液之中。兩金屬棒的相關資料如下，試回答下列問題(以下各小題中 E^0 皆代表還原電位)。



4-1. () 試問，此裝置中銅棒所扮演的角色為何？

(A) 正極 (B) 負極 (C) 無法判斷

4-2. 承上題，原因為何？（請直接在答案卷圈選適當的答案）

(A)正極	因為銅的 E^0 較大，容易 <table border="1"><tr><td>得到</td></tr><tr><td>失去</td></tr></table> 電子，作為 <table border="1"><tr><td>氧化劑</td></tr><tr><td>還原劑</td></tr></table> 。	得到	失去	氧化劑	還原劑
得到					
失去					
氧化劑					
還原劑					
(B)負極	因為銅的 E^0 較大，容易 <table border="1"><tr><td>得到</td></tr><tr><td>失去</td></tr></table> 電子，作為 <table border="1"><tr><td>氧化劑</td></tr><tr><td>還原劑</td></tr></table> 。	得到	失去	氧化劑	還原劑
得到					
失去					
氧化劑					
還原劑					
(C)無法判斷	<u>（請直接在答案卷勾選適當答案）</u> ☐ 反應只在兩極發生，並無發生電子移動，所以無法判斷。 ☐ 因為無法得知裝置中電子的得失情形，所以無法判斷。				

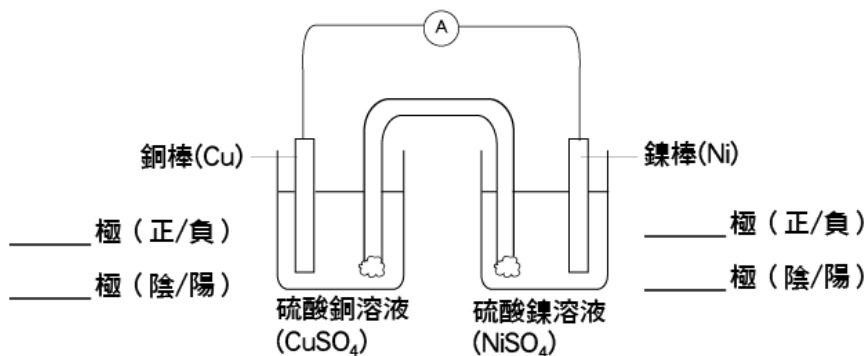
4-3. () 試問，此裝置中何者為陽極？

(A) 銅棒 (B) 鎳棒 (C) 無法判斷

4-4. 承上題，原因為何？（請直接在答案卷圈選適當的答案）

(A)銅棒	因為銅的 E^0 較大，較容易發生 <table border="1"><tr><td>氧化</td></tr><tr><td>還原</td></tr></table> 反應，作為 <table border="1"><tr><td>氧化劑</td></tr><tr><td>還原劑</td></tr></table> ， 所以銅棒為陽極。	氧化	還原	氧化劑	還原劑
氧化					
還原					
氧化劑					
還原劑					
(B)鎳棒	因為鎳的 E^0 較小，較容易發生 <table border="1"><tr><td>氧化</td></tr><tr><td>還原</td></tr></table> 反應，作為 <table border="1"><tr><td>氧化劑</td></tr><tr><td>還原劑</td></tr></table> ， 所以鎳棒為陽極。	氧化	還原	氧化劑	還原劑
氧化					
還原					
氧化劑					
還原劑					
(C)無法判斷	<u>（請直接在答案卷勾選適當答案）</u> ☐ 反應只在兩極發生，並無發生電子移動，所以無法判斷。 ☐ 因為無法得知裝置中電子的得失情形，所以無法判斷。				

4-5. 請根據 4-1. 與 4-3. 的答案，將銅棒與鎳棒的陰、陽極與正、負極標示在下圖。

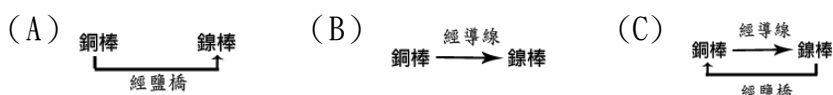


4-6.() 試問，此裝置中電子移動的方向為何？

- (A) 像交流電一樣，無一定方向 (B) 在裝置中電子不會移動
(C) 電子從銅棒至鎳棒 (D) 電子從鎳棒至銅棒

※注意:若在 4-6.題選擇(A)及(B)，請直接跳至 4-9.題繼續作答
選擇(C)，請跳至 4-7.-I 及 4-8.-I 題作答
選擇(D)，請跳至 4-7.-II 及 4-8.-II 題作答

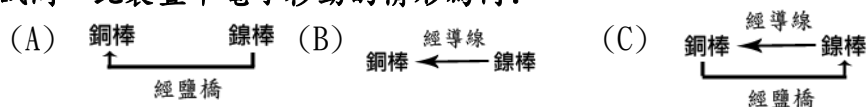
4-7.-I () 試問，此裝置中電子移動的情形為何？



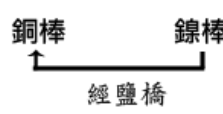
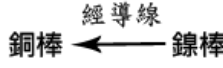
4-8.-I () 承上題，造成電子移動的原因為何？

(A)	(A-1) 因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-2) 因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到鎳棒而形成通路。 (A-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。
(B)	(B-1) 因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-2) 因為銅棒較易得到電子，所以得到的電子會經導線到鎳棒而形成通路。 (B-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的鎳棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4) 因為安培計所釋放出的電子會經導線到達鎳棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經銅棒與導線回到安培計。
(C)	(C-1) 因為銅棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到鎳棒，並經鹽橋回到銅棒而形成通路。 (C-2) 因為銅棒較易得到電子，所以硫酸鎳中的電子會經由鹽橋被銅棒吸引，電子再經由導線回到鎳棒而形成通路。 (C-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被銅棒吸引，再經導線到鎳棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4) 因為安培計所釋放出的電子會經導線到達鎳棒，並且再經由鹽橋、銅棒與導線回到安培計。

4-7.-II () 試問，此裝置中電子移動的情形為何？



4-8.-II () 承上題，造成電子移動的原因為何？

(A) 	(A-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會經鹽橋到銅棒而形成通路。 (A-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。
(B) 	(B-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒而形成通路。 (B-2)因為鎳棒較易得到電子，所以得到的電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (B-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去，以維持整個電路的電中性。 (B-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到達銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，再經鎳棒與導線回到安培計。
(C) 	(C-1)因為鎳棒較易失去電子，所以釋放出的電子會經導線到銅棒，並經鹽橋回到鎳棒而形成通路。 (C-2)因為鎳棒較易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由鹽橋被鎳棒吸引，電子會再經導線到銅棒而形成通路。 (C-3)因為正負相吸，所以帶負電的電子會經鹽橋被鎳棒吸引，再經導線到銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-4)因為安培計所釋放出的電子會經導線到達銅棒，並且再經由鹽橋、鎳棒與導線回到安培計。

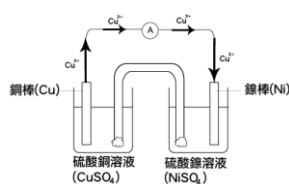
4-9. () 試問，此裝置中陽離子移動的方向為何？

- (A) 陽離子自由隨處亂動 (B) 陽離子不會移動
(C) 從銅棒至鎳棒 (D) 從鎳棒至銅棒

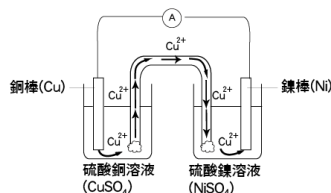
※注意:若在 4-9.題選擇(A)及(B)，請直接跳至 4-12.題繼續作答
選擇(C)，請跳至 4-10.-I 及 4-11.-I 題作答
選擇(D)，請跳至 4-10.-II 及 4-11.-II 題作答

4-10.-I () 試問，此裝置中陽離子移動的情形為何？

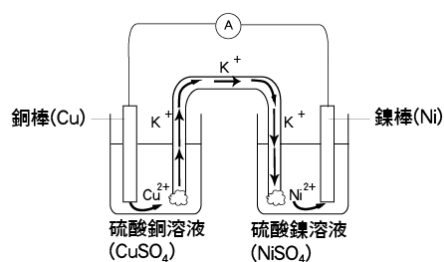
(A)



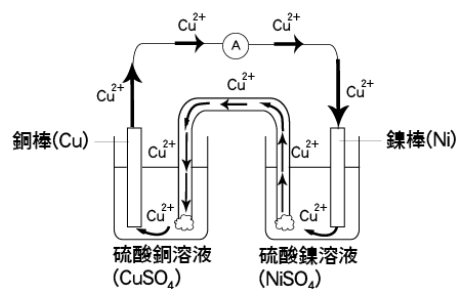
(B)



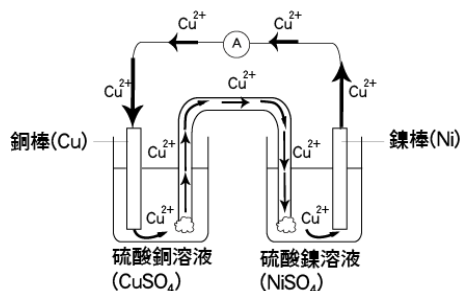
(C)



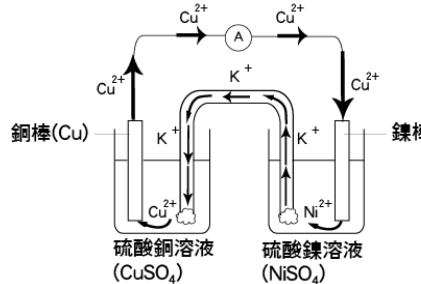
(D)



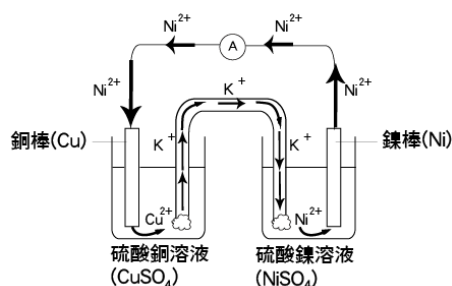
(E)



(F)

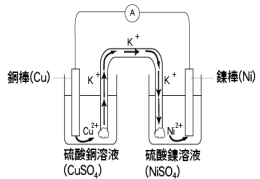
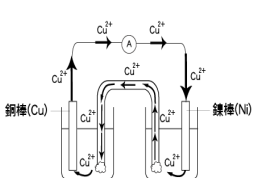
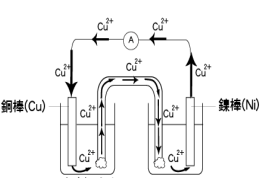
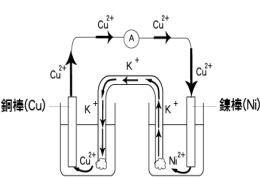
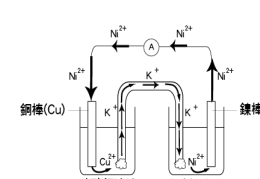


(G)



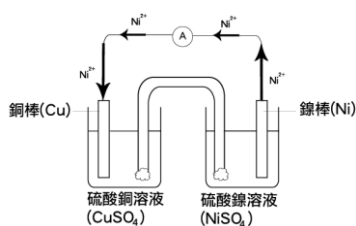
4-11.-I () 承上題，造成陽離子移動的原因為何？

(A)	(A-1) 因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒。 (A-2) 因為正負相吸，硫酸銅溶液中 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒。 (A-3) 因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。
(B)	(B-1) 因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。 (B-2) 因為正負相吸，硫酸銅溶液中 Cu^{2+} 會經由鹽橋移向負極的鎳棒。 (B-3) 因為陰陽相吸，而鎳棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。

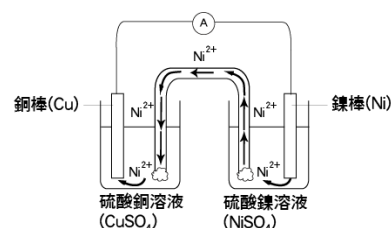
(C) 	(C-1) 因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。 (C-2) 鎳棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。
(D) 	(D-1) 銅棒發生氧化所以釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。 (D-2) 銅棒釋出的 Cu^{2+}，且因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。 (D-3) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的鎳棒，再經由鹽橋回到銅棒。
(E) 	(E-1) 銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由鹽橋移向鎳棒，再經由導線回到銅棒。 (E-2) 銅棒釋出的 Cu^{2+}，且因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。 (E-3) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的鎳棒，再經由導線回到銅棒。
(F) 	(F-1) 因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (F-2) 因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (F-3) 因為正負相吸，硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。
(G) 	(G-1) 因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (G-2) 因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (G-3) 因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。

4-10.-II () 試問，此裝置中陽離子移動的情形為何？

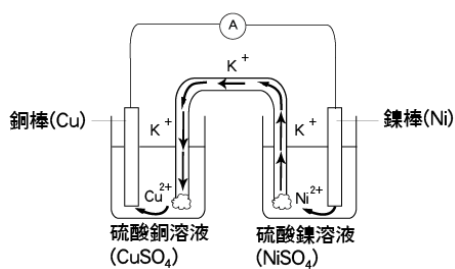
(A)



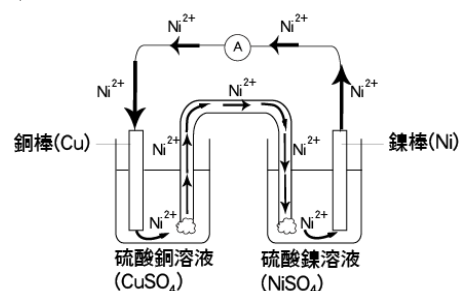
(B)



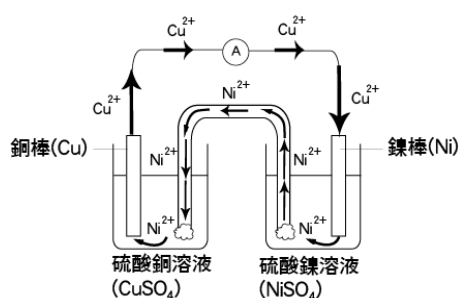
(C)



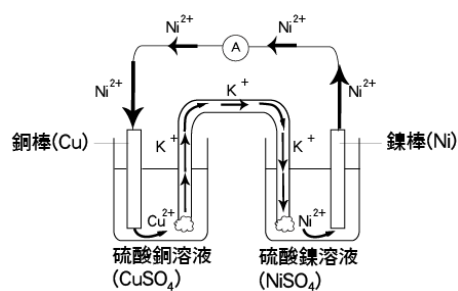
(D)



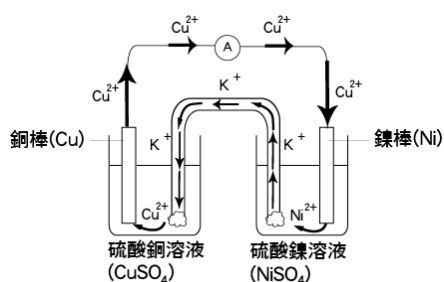
(E)



(F)

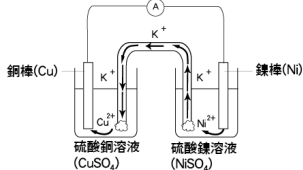
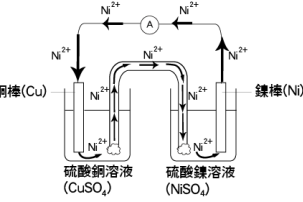
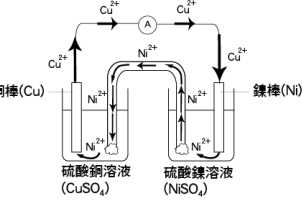
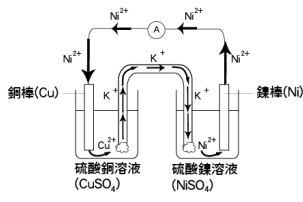
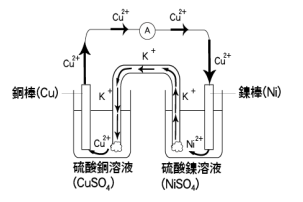


(G)



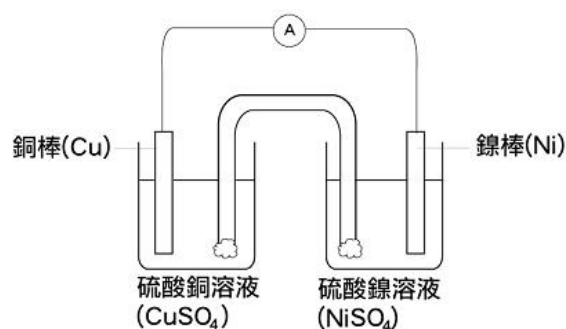
4-11.-II () 承上題，造成陽離子移動的原因為何？

(A)	(A-1) 因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2) 因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3) 因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在導線中往陰極移動。
(B)	(B-1) 因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-2) 因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒。 (B-3) 因為陰陽相吸，而銅棒為陰極，故陽離子會在鹽橋中往陰極移動。

(C) 	(C-1) 因為正負相吸，故陽離子會經由溶液往負極移動。 (C-2) 銅棒為陰極，故陽離子會經由溶液往陰極移動。
(D) 	(D-1) 鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-2) 鎳棒釋出的 Ni^{2+}，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。 (D-3) 硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由導線移向負極的銅棒，再經由鹽橋回到鎳棒。
(E) 	(E-1) 鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-2) 鎳棒釋出的 Ni^{2+}，因為正負相吸，所以 Ni^{2+} 會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。 (E-3) 硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 因正負相吸，所以會經由鹽橋移向負極的銅棒，再經由導線回到鎳棒。
(F) 	(F-1) 因為陰陽相吸，鎳棒發生氧化釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向陰極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-2) 因為正負相吸，鎳棒釋出的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。 (F-3) 因為正負相吸，硫酸鎳溶液中的 Ni^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到鎳棒。
(G) 	(G-1) 因為陰陽相吸，銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向陰極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-2) 因為正負相吸，銅棒釋出的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。 (G-3) 因為正負相吸，硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的鎳棒，溶液中陽離子會再經由鹽橋回到銅棒。

4-12. 請畫出此裝置正在運作中可能會發生的情形並詳細說明其原因為何？

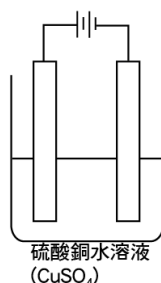
(以肉眼能觀察到、以及肉眼無法觀察到等兩個面向來描述)



4-13. () 你對題組四的答題信心程度為何？

(A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

五、下圖為粗銅精製的裝置圖，將一根純度 99% 的粗銅棒與另一根純度 99.99% 的純銅棒，浸放在 1M 硫酸銅(CuSO_4)水溶液中，以導線連接兩金屬棒，並施予 3 伏特(V)的外加電壓，試回答下列問題。



5-1. () 試問，粗銅棒應放置於圖中裝置的何處？

(A) 左邊 (B) 右邊 (C) 無法判斷

5-2. 承上題，原因為何？(請直接在答案卷圈選適當的答案)

(A)左邊	粗銅棒與外加電壓的	<table><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table>	正極	負極	相接，故為	<table><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table>	正極	負極	，又因為電池的正極有
	正極								
負極									
正極									
負極									
電子	<table><tr><td>流入</td></tr><tr><td>流出</td></tr></table>	流入	流出	，所以粗銅棒須	<table><tr><td>得到</td></tr><tr><td>失去</td></tr></table>	得到	失去	電子。	
流入									
流出									
得到									
失去									

(B)右邊	粗銅棒與外加電壓的 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> 相接，故為 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> ，又因為電池的正極有 電子 <table border="1"><tr><td>流入</td></tr><tr><td>流出</td></tr></table> ，所以粗銅棒須 <table border="1"><tr><td>得到</td></tr><tr><td>失去</td></tr></table> 電子。	正極	負極	正極	負極	流入	流出	得到	失去
正極									
負極									
正極									
負極									
流入									
流出									
得到									
失去									
(C)無法判斷	<u>(請直接在答案卷勾選適當的答案)</u> ☐ 反應只在兩極發生，並無發生電子移動，故無法判斷。 ☐ 因為無法得知裝置中電子流入或流出的方向，所以無法判斷。								

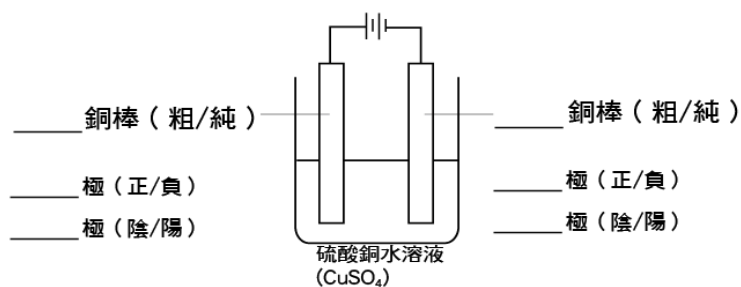
5-3. () 試問，此裝置中何者為陽極？

(A)粗銅棒 (B)純銅棒 (C)無法判斷

5-4. 承上題，原因為何？(請直接在答案卷圈選適當的答案)

(A)粗銅棒	因為粗銅棒與外加電壓的 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> 相接，故為 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> ， 又因為電池的正極有電子 <table border="1"><tr><td>流入</td></tr><tr><td>流出</td></tr></table> ，所以粗銅棒為陽極。	正極	負極	正極	負極	流入	流出
正極							
負極							
正極							
負極							
流入							
流出							
(B)純銅棒	因為純銅棒與外加電壓的 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> 相接，故為 <table border="1"><tr><td>正極</td></tr><tr><td>負極</td></tr></table> ， 又因為電池的正極有電子 <table border="1"><tr><td>流入</td></tr><tr><td>流出</td></tr></table> ，所以純銅棒為陽極。	正極	負極	正極	負極	流入	流出
正極							
負極							
正極							
負極							
流入							
流出							
(C)無法判斷	<u>(請直接在答案卷勾選適當的答案)</u> ☐ 反應只在兩極發生，並無發生電子移動，所以無法判斷。 ☐ 因為無法得知裝置中電子流入或流出的方向，所以無法判斷。						

5-5. 請根據 5-1. 與 5-3. 的答案，將粗銅棒與純銅棒的位置以及其陰、陽極與正、負極標示在下圖。

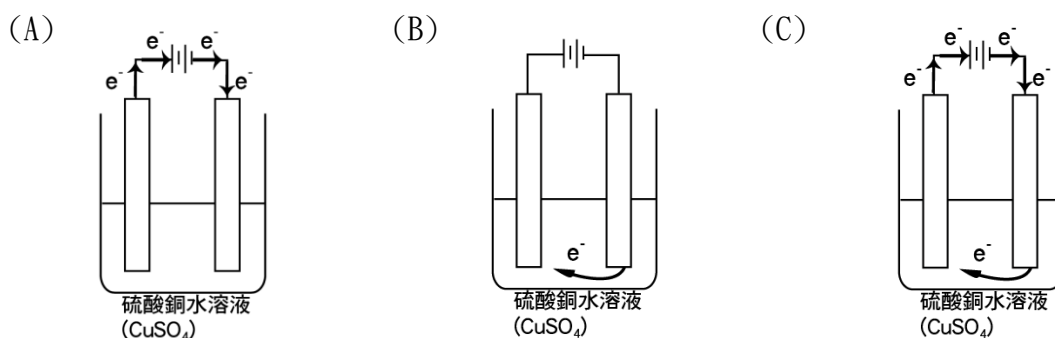


5-6. () 試問，此裝置中電子的移動的方向為何？

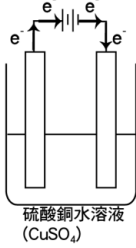
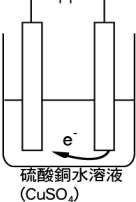
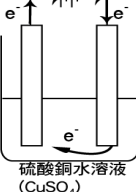
- (A) 像交流電一樣，無一定方向。 (B) 在裝置中電子不會移動。
(C) 順時針方向。 (D) 逆時針方向。

※注意：若在 5-6. 題選擇(A)及(B)，請直接跳至 5-9. 題繼續作答
選擇(C)，請跳至 5-7. -I 及 5-8. -I 題作答
選擇(D)，請跳至 5-7. -II 及 5-8. -II 題作答

5-7. -I () 試問，此裝置中電子移動的情形為何？

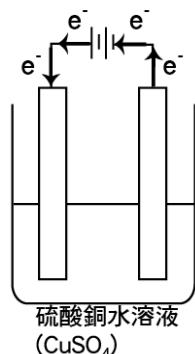


5-8. -I () 承上題，在裝置中電子移動的情形為何？

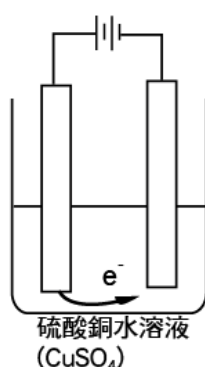
(A) 	(A-1) 因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒而形成通路。 (A-2) 因為左邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到右邊銅棒，以維持電中性。 (A-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。 (A-4) 因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達右邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經左邊銅棒與導線回到外加電壓。
(B) 	(B-1) 因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒而形成通路。 (B-2) 因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到左邊銅棒，以維持電中性。 (B-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的左邊銅棒吸引過去。
(C) 	(C-1) 因為左邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到右邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到左邊銅棒而形成通路。 (C-2) 因為左邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到左邊銅棒，電子會再經導線到右邊銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-3) 因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達右邊的銅棒，並且電子經由水溶液到達左邊銅棒，再經導線回到外加電壓。

5-7. -II () 試問，此裝置中電子移動的情形為何？

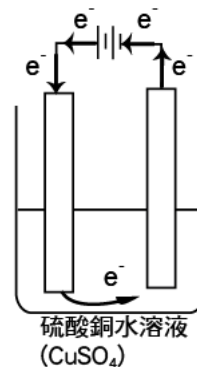
(A)



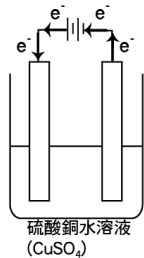
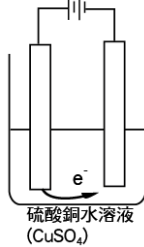
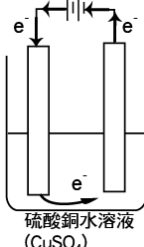
(B)



(C)



5-8. -II () 承上題，造成電子移動的原因為何？

(A) 	(A-1) 因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒而形成通路。 (A-2) 因為右邊銅棒發生還原，所以得到的電子會再經導線到左邊銅棒，以維持電中性。 (A-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經導線被正極的銅棒吸引過去。 (A-4) 因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達左邊的銅棒，並且與水溶液的離子交互作用，電子會再經右邊銅棒與導線回到外加電壓。
(B) 	(B-1) 因為左邊銅棒易失去電子，所以釋放出的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅而形成通路。 (B-2) 因為左邊銅棒易發生還原，所以得到的電子會經硫酸銅溶液到右邊銅棒，以維持電中性。 (B-3) 因為正負相吸，所以帶負電的電子會經硫酸銅溶液被正極的右邊銅棒吸引過去。
(C) 	(C-1) 因為右邊銅棒失去電子，所以釋放出的電子會經導線到左邊銅棒，並經硫酸銅溶液回到右邊銅棒而形成通路。 (C-2) 因為右邊銅棒易得到電子，所以硫酸銅中的電子會經由溶液吸引到右邊銅棒，電子會再經導線到左邊銅棒，以維持整個電路的電中性。 (C-3) 因為外加電壓所釋放出的電子會經導線到達左邊的銅棒，並且電子經由水溶液到達右邊銅棒，再經導線回到外加電壓。

5-9. () 試問，此裝置中 Cu^{2+} 的移動的方向為何？

- (A) Cu^{2+} 自由隨處亂動 (B) Cu^{2+} 不會移動
(C) 從左邊銅棒至右邊銅棒 (D) 從右邊銅棒至左邊銅棒

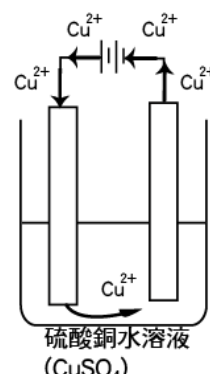
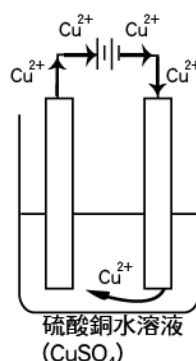
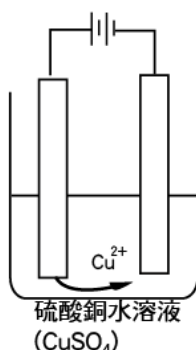
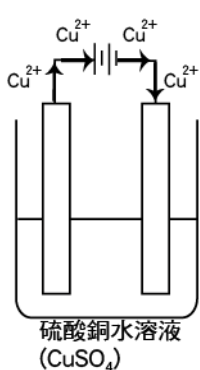
※注意：若在 5-9. 題選擇(A)及(B)，請直接跳至 5-12. 題繼續作答

選擇(C)，請跳至 5-10. -I 及 5-11. -I 題作答

選擇(D)，請跳至 5-10. -II 及 5-11. -II 題作答

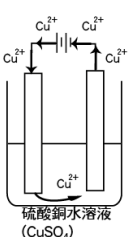
5-10. -I () 試問，此裝置中 Cu^{2+} 移動的情形為何？

- (A) (B) (C) (D)

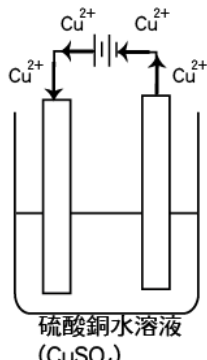
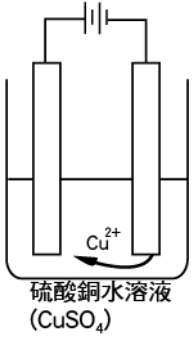
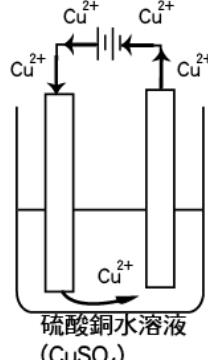
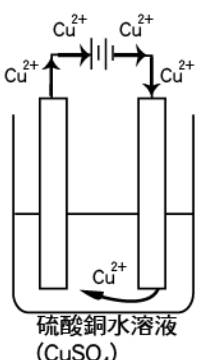


5-11. -I () 承上題，造成 Cu^{2+} 移動的原因為何？

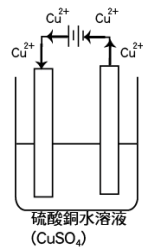
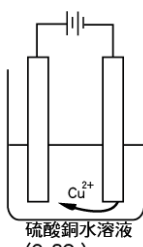
(A) 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	(A-1) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3) 陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。
(B) 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	(B-1) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3) 右邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。
(C) 硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	(C-1) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (C-2) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到左邊銅棒。

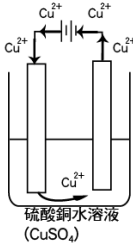
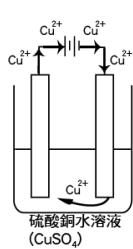
(D)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(D-1)左邊銅棒發生氧化釋出的 Cu²⁺會經由溶液移向右邊銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-2)左邊銅棒釋出的 Cu²⁺，因為正負相吸，所以 Cu²⁺會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (D-3) 硫酸銅溶液中的 Cu²⁺會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。
---	--

5-10. -II() 試問，此裝置中 Cu²⁺移動的情形為何？

(A)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(B)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(C)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(D)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)
---	---	--	---

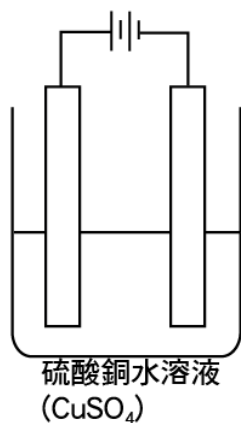
5-11. -II () 承上題，造成 Cu²⁺移動的原因為何？

(A)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(A-1)因為正負相吸，所以 Cu²⁺會經由導線移向負極的銅棒。 (A-2)硫酸銅溶液中的 Cu²⁺會經由導線移向負極的銅棒。 (A-3)陽離子會在導線中往陰極移動，在此陰極為負極。
(B)  硫酸銅水溶液 (CuSO₄)	(B-1)因為正負相吸，所以 Cu²⁺會經由硫酸銅溶液移向負極的銅棒。 (B-2)硫酸銅溶液中的 Cu²⁺會經由硫酸銅移向陰極的銅棒。 (B-3)左邊銅棒為陰極，故陽離子會在溶液中往陰極移動。

(C)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	(C-1) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到左邊銅棒。 (C-2) 因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由導線移向負極的銅棒，再經由硫酸銅溶液回到右邊銅棒。
(D)  硫酸銅水溶液 (CuSO_4)	(D-1) 右邊銅棒發生氧化釋出的 Cu^{2+} 會經由溶液移向左邊銅棒，再經由導線回到右邊銅棒，以維持電路的通路。 (D-2) 右邊銅棒釋出的 Cu^{2+}，因為正負相吸，所以 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。 (D-3) 硫酸銅溶液中的 Cu^{2+} 會經由溶液移向負極的銅棒，再經由導線回到右邊銅棒。

5-12. 請畫出此裝置正在運作中可能會發生的情形並詳細說明其原因為何？

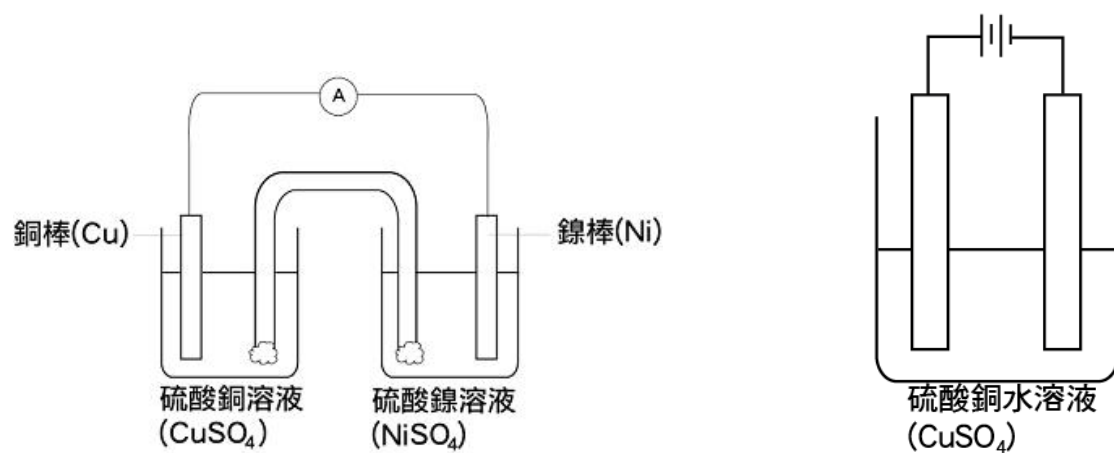
(以肉眼能觀察到、以及肉眼無法觀察到等兩個面向來描述)



5-13. () 你對題組五的答題信心程度為何？

(A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

六、試問題組四與題組五的差異為何？為什麼？（可利用圖形加以說明）



6-1. () 你對題組六的答題信心程度為何？

(A) 非常有信心 (B) 有信心 (C) 沒信心 (D) 非常沒信心。

附錄四、課堂評量

氧化還原第一堂課的課堂評量

1. 下列何者屬於氧化還原反應？

- A. $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- B. $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 8\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{CH}_3\text{CHO} + 7\text{H}_2\text{O}$
- C. $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}$
- D. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$

2. 下列何者屬於氧化還原反應？

- A. $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$
- B. $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow \text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{Cl}^-$
- C. $\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{NaOH}$
- D. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \text{NaHSO}_4$

3. 下列何者屬於氧化還原反應？

- A. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$
- B. $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{BaSO}_4$
- C. $\text{HCl} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- D. $3\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 8\text{H}^+ \rightarrow 3\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$

4. 下列何者屬於氧化還原反應？

- A. $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}$
- B. $2\text{NH}_3 + \text{AgCl} \rightarrow \text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+ + \text{Cl}^-$
- C. $\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$
- D. $\text{NaHSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

氧化還原第二堂課的課堂評量

1. 下列敘述何者正確？

- A. 氧化反應是失去電子，故為還原劑
- B. 氧化反應是失去電子，故為氧化劑
- C. 還原反應是得到電子，故為還原劑
- D. 還原反應是得到電子，故為氧化劑

2. 下列敘述何者正確？

- A. 自由基容易得電子，因此自由基具有氧化性
- B. 進行氧化反應的物質為氧化劑
- C. 本身被氧化者稱為氧化劑
- D. 強氧化劑還原後生成的物質具有強還原力

3.下列何者反應需要有氧化劑參與？

- A. $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$
- B. $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
- C. $\text{M}^{2+} \rightarrow \text{M}$
- D. $\text{HgCl}_2 \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2$
- E. $\text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2$

4.下列敘述何者正確？

- A. 本身被氧化者稱為氧化劑
- B. 在食品化學中，氧化劑常被稱為抗氧化劑
- C. 接受電子的反應物為還原劑
- D. 進行還原反應的物質為還原劑

5.下列敘述何者正確？

- A. 進行氧化反應的物質為氧化劑
- B. 進行氧化反應的生成物為氧化劑
- C. 接受電子的反應為氧化反應
- D. 強氧化劑還原後生成的物質具有弱還原力

6.下列哪一種變化需要有氧化劑參與？

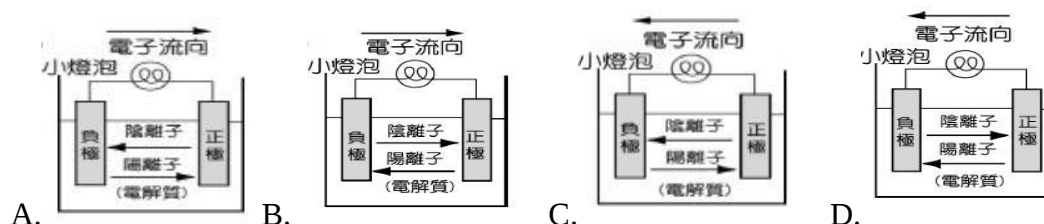
- A. $\text{I}_2 \rightarrow \text{HI}$
- B. $\text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$
- C. $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HgCl}_2$
- D. $\text{SO}_3 \rightarrow \text{SO}_2$
- E. $\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$

電池第一堂課的課堂評量

1. 下列關於化學電池的敘述，何者錯誤？

- A. 電池的負極又稱為陽極
- B. 陽極發生氧化反應
- C. 負極反應所產生的陽離子經由外電路傳至正極
- D. 負極產生的電子經由外電路 傳至正極

2. 一般電化學電池放電時，電池運作示意圖何者正確？



電池第二堂課、電解第一堂課的課堂評量

1. 有關 $\text{Cu(s)}|\text{CuSO}_4(\text{aq})||\text{AgNO}_3(\text{aq})|\text{Ag(s)}$ 電池的敘述，何者正確？

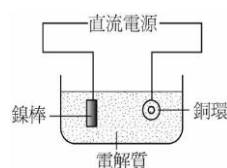
- A. 放電時 Ag^+ 濃度逐漸增加
 - B. 放電時 Cu 極質量增加
 - C. 將 Cu 棒換成石墨棒，電池電壓不變
 - D. 鹽橋之陽離子移向 Ag 極
2. 有關電解之敘述，何者不正確？
- A. 連接於電源之陽極行氧化反應
 - B. 外電源的電壓須高於電解反應之電壓絕對值
 - C. 電解時陽離子移向電解槽之陰極
 - D. 電解 $\text{KI}(\text{aq})$ 時，連於鉛蓄電池之二氧化鉛極，可生成 $\text{I}_2(\text{aq})$ 或 $\text{I}^-(\text{aq})$

電解第二堂課的課堂評量

1. 有關電池 $\text{Zn} + 2\text{Ag}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag(s)}$ 的敘述何者正確？

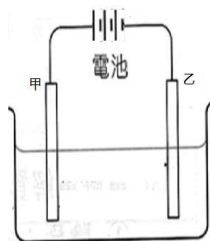
- A. 陽極即「+」極為 Zn
- B. 電子由 Zn 極流到 Ag 極
- C. 可使用 AgNO_3 溶液作為鹽橋
- D. 鹽橋中陰離子游向正極

2. 學生嘗試用下圖裝置將一銅環鍍上鎳，下列哪一組合是正確的？



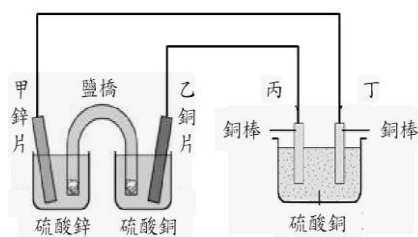
- A. 陽極為銅環，陰極為鎳棒，電解質為 $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$
- B. 陽極為鎳棒，陰極為銅環，電解質為 $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$
- C. 陽極為銅環，陰極為鎳棒，電解質為 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$
- D. 陽極為鎳棒，陰極為銅環，電解質為 $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$

3.請根據下圖判斷何者敘述正確？



- A.溶液中的陽離子往甲電極移動
- B.溶液中的陽離子往乙電極移動
- C.乙電極發生氧化反應
- D.乙電極發生還原反應

4.如下圖為以鋅銅電池電解硫酸銅水溶液的實驗裝置，以下關於甲、乙、丙、丁四電極棒的三個敘述，何者為全部正確？



- A.甲電極，質量減少，反應式為 $\text{Zn} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ ，還原反應
- B.乙電極，質量增加，反應式為 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ ，氧化反應
- C.丙電極，質量減少，反應式為 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，氧化反應
- D.丁電極，質量不變，反應式為 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ ，還原反應

附錄五、概念圖試題

概念圖

請將下列概念名詞，以概念構圖的方式，建構屬於你自己的概念圖。

規則 1：下列各概念名詞，一定要將它繪入您的概念圖中，可重複使用。

規則 2：若您認為有些概念名詞不適宜出現，請放入最下方「註」的欄位即可。

規則 3：若下列概念名詞您認為有所不足，可以自行增加(以其他顏色標記)

規則 4：概念圖中，需要呈現連結線(① — ② → ③ ↔)。

規則 5：請在連結線上寫上關係(例如：分成、有、包含、……)。

概念名詞：

氧化還原反應、自發反應、
非自發反應、氧化反應、
還原反應

電解質、電池、電解、電極、
陽極(正極)、陰極(負極)、
陽極(負極)、陰極(正極)、
鹽橋、外電路

氧化數、氧化劑、還原劑、
氧化電位、還原電位、
氧化力、還原力、滴定

電子轉移、電子移動
、離子移動

註：